

**T.C.**  
**BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**SENTETİK ATIKSUDA ELEKTROOKSİDASYON YÖNTEMİ İLE**  
**BOYAR MADDE GİDERİMİ**

**DENİZ TOSUN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Jüri Üyeleri :** Doç. Dr. Baybars Ali FİL (Tez Danışmanı)  
Prof. Dr. Alper Erdem YILMAZ  
Dr. Öğr. Üyesi Atilla MUTLU

**BALIKESİR, ŞUBAT - 2022**

## **ETİK BEYAN**

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan “SENTETİK ATIKSUDA ELEKTROOKSİDASYON YÖNTEMİ İLE BOYARMADDE GİDERİMİ” başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

**DENİZ TOSUN**

## ÖZET

**SENTETİK ATIKSUDA ELEKTROOKSİDASYON YÖNTEMİ İLE BOYAR  
MADDE GİDERİMİ  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
DENİZ TOSUN  
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
(TEZ DANIŞMANI:DOÇ.DR. ALİ BAYBARS FİL)**

**BALIKESİR, ŞUBAT - 2022**

Bu çalışmada tekstil sektöründe kullanılan Bomaplex Blue ve Drimarine Orange boyar maddeleri ile hazırlanan sentetik atıksuyun elektrooksidasyon yöntemiyle Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub> anot (DSA tipi) ve paslanmaz çelik katot (plaka tipi) elektrotlar kullanılarak renk giderimi incelenmiştir. Çalışma da her iki boyar madde için de aynı standart koşullar sağlanmış olup akım yoğunluğunun, destek elektrolit konsantrasyonunun, destek elektrolit türünün, sıcaklığın, pH'ın, boyar madde konsantrasyonun renk giderimine etkileri deneysel olarak çalışılmıştır. Optimum şartlar; C<sub>0</sub>=250 mg/L, pH=doğal, T=25°C, J=0,325 mA/cm<sup>2</sup>, Karıştırıcı Hızı=200 rpm, Destek Elektrolit Türü (DET)=NaCl, Destek Elektrolit Konsantrasyonu (DEK)=5 mM olarak belirlendiğinde renk giderim verimi %98,73, enerji tüketim değeri 3,810 kW-sa/m<sup>3</sup> şeklinde hesaplanmıştır.

**ANAHTAR KELİMELELER:** Bomaplex blue, Drimarine orange, Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub> anot

Bilim Kod / Kodları : 90319, 90320

Sayfa Sayısı: 48

## ABSTRACT

### DYE REMOVAL IN SYNTHETIC WASTEWATER BY ELECTROOXIDATION METHOD

MSC THESIS

DENİZ TOSUN

BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

ENVIRONMENTAL ENGINEERING

(SUPERVISOR:DOÇ.DR. ALİ BAYBARS FİL)

BALIKESİR, FEBRUARY - 2022

In this study, color removal of synthetic wastewater prepared with Bomaplex Blue and Drimarine Orange dyestuffs used in the textile industry was investigated by electrooxidation method using Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub> anode (DSA type) and stainless steel cathode (plate type) electrodes. In the study, the same standard conditions were provided for both dyestuffs and the effects of current density, supporting electrolyte concentration, supporting electrolyte type, temperature, pH, dyestuff concentration on decolorization were studied experimentally. When optimum conditions set as; C<sub>0</sub>=250 mg/L, pH=natural, T=25°C, J=0.325 mA/cm<sup>2</sup>, Stirrer Speed=200 rpm, Support Electrolyte Type (DET)=NaCl, Support Electrolyte Concentration (DEK)=5 mM; the color removal efficiency was calculated as 98.73% and the energy consumption value was calculated as 3,810 kWh/m<sup>3</sup>.

**KEYWORDS:** Bomaplex blue, Drimarine orange, Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub> anode

Science Code / Codes : 90319, 90320

Page Number : 48

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>v</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>SEMBOL LİSTESİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. TEKSTİL ENDÜSTRİSİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ</b> .....	<b>3</b>
2.1 Endüstrinin Tanıtılması.....	3
2.2 Tekstil Sanayisinde İmalat .....	4
2.2.1 Hammaddeler .....	4
2.2.2 İmalat Süreç ve İşlemler.....	4
2.2.3 Tekstil Sanayi Atıksu Kaynakları ve Karakteristikleri .....	8
2.2.3.1 Tekstil Sanayi Atıksu Kaynakları.....	8
2.2.3.2 Tekstil Endüstrisinde Alt Kategorilerin Belirlenmesi .....	8
2.2.4 Tekstil Sanayisi Atıksu Karakterizasyonunun Alt Sınıflarının İncelenmesi.....	13
2.2.5 Elektrokimyasal Yöntemler .....	14
2.2.5.1 Elektrokimyasal Arıtım Türleri .....	15
2.2.5.2 Elektrooksidasyon .....	15
<b>3. MATERYAL ve METOT</b> .....	<b>17</b>
3.1 Kullanılan Boyar Madde .....	17
3.2 Deney Düzenegi.....	18
3.2.1 Deneyin Yapılışı.....	19
3.3 Hesaplama .....	19
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI</b> .....	<b>20</b>
4.1 BOMAPLEX BLUE .....	20
4.1.1 Akım Yoğunluğunun Renk Giderimine Etkisi .....	20
4.1.2 Destek Elektrolit Konsantrasyonun Renk Giderimine Etkisi .....	21
4.1.3 Destek Elektrolit Türünün Renk Giderimine Etkisi .....	22
4.1.4 Boyar Madde Konsantrasyonunun Renk Giderimine Etkisi .....	23
4.1.5 Sıcaklığın Renk Giderimine Etkisi .....	24
4.1.6 pH'ın Renk Giderimine Etkisi .....	25
4.1.7 Akım Yoğunluğunun Enerji Tüketimine Etkisi .....	26
4.1.8 Destek Elektrolit Konsantrasyonun Enerji Tüketimine Etkisi .....	27
4.1.9 Destek Elektrolit Türünün Enerji Tüketimine Etkisi .....	28
4.1.10 Boyar Madde Konsantrasyonunun Enerji Tüketimine Etkisi .....	29
4.1.11 Sıcaklığın Enerji Tüketimine Etkisi .....	30
4.1.12 pH'ın Enerji Tüketimine Etkisi .....	31
4.2 DRİMARİNE ORANGE .....	32
4.2.1 Akım Yoğunluğunun Renk Giderimine Etkisi .....	32
4.2.2 Destek Elektrolit Konsantrasyonun Renk Giderimine Etkisi .....	33
4.2.3 Destek Elektrolit Türünün Renk Giderimine Etkisi .....	34

4.2.4 Boyar Madde Konsantrasyonunun Renk Giderimine Etkisi.....	35
4.2.5 Sıcaklığın Renk Giderimine Etkisi .....	37
4.2.6 pH'ın Renk Giderimine Etkisi .....	38
4.2.7 Akım Yoğunluğunun Enerji Tüketimine Etkisi .....	39
4.2.8 Destek Elektrolit Konsantrasyonunun Enerji Tüketimine Etkisi.....	40
4.2.9 Destek Elektrolit Türünün Enerji Tüketimine Etkisi .....	41
4.2.10 Boyar Madde Konsantrasyonunun Enerji Tüketimine Etkisi.....	42
4.2.11 Sıcaklığın Enerji Tüketimine Etkisi.....	43
4.2.12 pH'ın Enerji Tüketimine Etkisi .....	44
<b>5. SONUÇ ve ÖNERİLER .....</b>	<b>45</b>
<b>6. KAYNAKLAR .....</b>	<b>46</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1: Tarkhan (ilk kıyafet) .....	4
Şekil 2.2: Boyama prosesi atık suları arıtımında kullanılan arıtma prosesleri diyagramı (Açıkgöz, 2019) .....	15
Şekil 2.3: Elektrokodasyon şemasal gösterimi .....	16
Şekil 3.1: Bomaplex Blue kimyasal formülü .....	17
Şekil 3.2: Drimarine Orange kimyasal formülü .....	18
Şekil 4.1: Akım yoğunluğunun zamana karşı renk giderimine etkisi .....	20
Şekil 4.2: Destek elektrolit konsantrasyonunun zamana karşı renk giderimine etkisi .....	21
Şekil 4.3: Destek elektrolit türünün zamana karşı renk giderimine etkisi .....	22
Şekil 4.4: Boyar madde konsantrasyonunun zamana karşı renk giderimine etkisi .....	23
Şekil 4.5: Sıcaklık parametresinin zamana karşı renk giderimine etkisi .....	25
Şekil 4.6: pH'ın zamana karşı renk giderimine etkisi .....	26
Şekil 4.7: Akım yoğunluğunun zamana karşı renk giderimine etkisi .....	27
Şekil 4.8: Destek elektrolit konsantrasyonunun zamana karşı enerji tüketimine etkisi .....	28
Şekil 4.9: Destek elektrolit türünün zamana karşı enerji tüketimine etkisi .....	29
Şekil 4.10: Boyar madde konsantrasyonunun zamana karşı enerji tüketimine etkisi .....	30
Şekil 4.11: Sıcaklığın zamana karşı enerji tüketimine etkisi .....	31
Şekil 4.12: pH'ın zamana karşı enerji tüketimine etkisi .....	32
Şekil 4.13: Akım yoğunluğunun zamana karşı renk giderimine etkisi .....	33
Şekil 4.14: Destek elektrolit konsantrasyonunun zamana karşı renk giderimine etkisi .....	34
Şekil 4.15: Destek elektrolit türünün zamana karşı renk giderimine etkisi .....	35
Şekil 4.17: Sıcaklık parametresinin zamana karşı renk giderimine etkisi .....	37
Şekil 4.19: Zaman içerisindeki enerji tüketim miktarını etkileyen akım yoğunluğu grafiği	39
Şekil 4.20: Zaman içerisindeki enerji tüketim miktarını etkileyen destek elektrolit konsantrasyon grafiği .....	40
Şekil 4.21: Zaman içerisindeki enerji tüketim miktarını etkileyen destek elektrolit türü grafiği .....	41
Şekil 4.22: Zaman içerisindeki enerji tüketim miktarını etkileyen boyar madde konsantrasyon grafiği .....	42
Şekil 4.23: Zaman içerisindeki enerji tüketim miktarını etkileyen sıcaklık grafiği .....	43
Şekil 4.24: Zaman içerisindeki enerji tüketim miktarını etkileyen pH grafiği .....	44

## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

<b>Tablo 2.1:</b> Tekstil endüstrisinin farklı basamaklarında ana kirletici bileşenleri (Verma A K ve arkadaşları, 2012).....	6
<b>Tablo 2.2:</b> Tekstil atıksuyu kirlilik karakterizasyonu .....	9
<b>Tablo 2.3:</b> Alt kategorilere göre oluşan atıksu miktarı .....	10
<b>Tablo 2.4:</b> Alt kategorilere göre kirletici türleri.....	14



## SEMBOL LİSTESİ

<b>A</b>	: Amper
<b>AKM</b>	: Askıda Katı Madde
<b>A<sub>s</sub></b>	: Aktif Yüzey Alanı (cm <sup>2</sup> )
<b>BOİ</b>	: Biyolojik Oksijen İhtiyacı
<b>C<sub>0</sub></b>	: Başlangıçta Atıksudaki Kirlenici Konsantrasyonu (mg/L)
<b>C<sub>e</sub></b>	: Herhangi bir t Anında Atıksuda Kalan Kirlenici Konsantrasyonu (mg/L)
<b>dB</b>	: Desibel
<b>DE</b>	: Destek Elektrolit
<b>DEK</b>	: Destek Elektrolit Konsantrasyonu
<b>DET</b>	: Destek Elektrolit Türü
<b>E</b>	: Elektromotor Kuvveti (pil gerilimi)
<b>E°</b>	: Standart Elektromotor Kuvveti (pilgerilimi)
<b>E<sub>A.G.</sub></b>	: Teorik Ayrışma Gerilimi
<b>E<sub>Anot</sub></b>	: Anotta Oluşan Gerilim
<b>EF</b>	: Elektroflotasyon
<b>EK</b>	: Elektrokoagülasyon
<b>E<sub>Katod</sub></b>	: Katotta Oluşan Gerilim
<b>EO</b>	: Elektrooksidasyon
<b>F</b>	: Faraday Sabiti
<b>g</b>	: Gram
<b>I</b>	: Akım Şiddeti (Amper)
<b>J</b>	: Akım Yoğunluğu (mA/cm <sup>2</sup> )
<b>k</b>	: Reaksiyon Hız Sabiti
<b>KH</b>	: Karıştırma Hızı
<b>KOİ</b>	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
<b>kW</b>	: Kilowatt
<b>L</b>	: Litre
<b>M</b>	: Molarite (Molar)
<b>mA</b>	: Mili Amper
<b>M<sub>A</sub></b>	: Molekül Ağırlığı (g/mol)
<b>mg</b>	: Miligram
<b>MO</b>	: Metal Oksit
<b>n</b>	: Anot Yüzeyinde Adsorbe Edilmiş Hidroksil Radikali Sayısı
<b>n<sub>e</sub></b>	: Reaksiyon Sırasında Alınan Verilen Elektron
<b>nm</b>	: Nanometre
<b>OH<sup>•</sup></b>	: Hidroksil Radikali
<b>Q</b>	: Kütlelerin Etkisi
<b>R</b>	: Organik Bileşik
<b>Rg</b>	: Gaz Sabiti
<b>SKKY</b>	: Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
<b>T</b>	: Sıcaklık
<b>t</b>	: Zaman
<b>TDS</b>	: Toplam Çözünmüş Madde
<b>TOK</b>	: Toplam Organik Karbon
<b>v</b>	: Reaktördeki Toplam Çözelti Hacmi (m <sup>3</sup> )
<b>V</b>	: Uygulanan Potansiyel Fark (Volt)
<b>W</b>	: Enerji Tüketimi (kW-saat/m <sup>3</sup> )
<b>η</b>	: Arıtma Verimi
<b>μS</b>	: Mikro Siemens

## ÖNSÖZ

Yüksek lisans ve tez çalışmalarım süresince hoşgörü, duyarlı oluşu ve desteği ile daima yanımda olan bilgi birikimi ve tecrübesi ile bana yol gösteren değerli hocam Doç. Dr. Baybars Ali FİL'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Çalışmamın her aşamasında benden yardımlarını ve deneyimlerini esirgemeyen tüm bölüm hocalarıma, kıymetli meslektaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim. Tüm çalışmalarım süresince bana destek olan kıymetli eşim İrem ve kızım Mira'ya en içten şükranlarımı sunarım.

**Balıkesir, 2022**

**Deniz Tosun**

# 1. GİRİŞ

Hızla artan nüfus ve ihtiyaçlar doğrultusunda ortaya çıkan, tüketime olan düşkünlüğün beraberinde getirdiği kaynakların yanlış kullanımı ile çevre sorunları meydana gelmektedir. Kaynakların plansız, düzensiz ve kontrolsüz kullanımı sonucu gelecek nesillerin temiz ve sürdürülebilir kaynak erişimini olumsuz etkilemektedir. Doğal kaynaklar evrenin varoluşundan beri süre gelen ve kendini yenileyebilen kaynaklardır. Hava, su, toprak, güneş, bitki örtüsü ve cevherler doğal kaynaklara örnektir. Bunlardan en önemli olanı sudur. Dünyamızı diğer gezegenlerden ayıran en belirgin özellik suyun var olmasıdır. Yaşamın devamı için en gerekli temel bileşendir. Su gerek insanlar gerekse bitkiler ve hayvanlar için muhtaç olunan mühim bir doğal kaynaktır. İnsan bedeninin büyük bir kısmının su olduğu bilinmekte ve su biz insanlar içinde temel yapı taşıdır. Bu durum göz önüne alınırsa insanoğlu ilk çağlardan beri su ihtiyacını karşılamak için farklı arayışlar içine girmiştir. Yerleşik hayat düzeni su kenarlarına kurulmuş medeniyet bunun üzerine şekillenmiştir. Yeryüzü üzerinde mevcut suyun çok az bir kısmı (%3) içilebilir niteliktedir. İçilebilir suyun ise % 1'ine erişilebilmektedir. Başka bir anlatımla, mevcut su miktarının % 0, 007'si içilebilmektedir (Ceylan, 2010). Bu da demek oluyor ki temiz ve kullanılabilir su kaynağımız yeterli değildir. Bu durum beraberinde kullanılan suların geri kazanımının ve yeşil teknoloji uygulamalarına geçişin önemini göstermektedir. Atıksular Atıksular evsel, endüstriyel ve tarımsal faaliyetler sonucu oluşan, göl, akarsu, nehir ve deniz gibi alıcı ortamların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini bozan sulardır. Atıksular ekolojik dengenin bozulmaması için alıcı ortama arıtma işlemi yapılmadan deşarj edilmez. Gelişen teknoloji sayesinde arıtma işlemleri de ilerlemiştir. Atıksuların geri kazanımı için farklı prosesler uygulanır ve atıksular belirli standartlara sahip hale getirilir. Bu standartlar Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın mevzuatları ile belirlenmektedir. Her atıksuyu arıtmak için o atıksuya özel proses tasarlanır. Atıksu arıtımında fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma işlemleri uygulanır. Kompozisyonu ve hacmi ele alındığında tekstil endüstrisinde kullanılmış sular başka endüstriyel iş kollarına göre büyük oranda kirletici unsur barındırır. Tekstil endüstrisinin atıksuları ülkemizde ve dünyada insan, bitki, hayvan, çevre ve tüm canlılar için risk oluşturan atıklardan oluşabilmektedir. Bu nedenle arıtma işlemine tabi tutulmaları elzemdir. Tekstil atıksuları Biyolojik oksijen ihtiyacı, boyar madde konsantrasyonu, askıda katı madde konsantrasyonu ve kimyasal oksijen ihtiyacı yüksek, atıksulardır. Yüksek konsantrasyonda boyar madde içeren atıksular alıcı ortama deşarj edildiğinde ışığın suda kırılmasına mâni

olup fotosentez mekanizmasına negatif yönde etkiler. Bu nedenle tekstil endüstrisinden kaynaklı atıksular atıksu karakterizasyonu ve kirletici değerleri gözetilerek uygun arıtma prosesi/prosesleri tasarlanmalıdır. Bu proseslerden biride elektrokimyasal metottur. Kolay uygulanan ve kirlilik sorununa çözüm olabilecek yeni çalışama sahaları oluşturur. Temel reaktifin elektron olması ile var olan atıkların zararlarının minimuma indirgenmesi ve yeni ürün ortaya koyması yarar sağlar. Elektrooksidasyon metoduyla organik maddeler farklı organik maddeye dönüşür ya da uzaklaştırılır. Elektrooksidasyonda organik moleküllerin elektrot metalinin katalitik tesiri büyük ölçüde etkilidir. Organik moleküller elektrot yüzeyine adsorplanır elektrooksidasyon yöntemiyle elektron transferi gerçekleşip farklı ürünlere dönüşürler. Son ürünlerde CO<sub>2</sub>,H<sub>2</sub>O oluşur. Ara basamakta oluşan ürünler veya radikaller meydana gelebilir. Elektrooksidasyon ara basamak ürünleriyle devam da edebilir ya da kararlı son ürünlerle son bulabilir (Fil 2014).

## 2. TEKSTİL ENDÜSTRİSİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ

### 2.1 Endüstrinin Tanıtılması

Latince “Texere” kelimesinden gelen tekstil kavramı dokuma veya örme anlamına gelmektedir (Kereci 2014). M.Ö. 5000 yıllarında Mısırlılara ait mağaralarda keşfedilen keten kıyafet (Tarkhan) kalıntıları dünyada tekstil ile ilgili bilinen ilk örnektir. 1500’lü yılların başlarında tekstil endüstrisi ilk imalathaneleri kurulmuştur ve daha sonra büyük değer kazanmıştır. Giyinme ihtiyacının artmasında çevresel etkiler insanların sosyoekonomik hallerinin değişiklik yaratması sonucunda çeşitli tekstil usulleri gözlemlenmiştir. Kültürel farklılıklarla çeşitli fonksiyonlara sahip giysiler boyar materyallerin örme ve dokuma işlemlerinden başlangıç ve bitişinde kullanılması artarak yaygınlaşmıştır. Osmanlı Devleti’nin son zamanlarında kurulan Defterdar ve Hereke Yünlü İmalathaneleri ve Bakırköy Pamuklu İmalathanesi ile tekstil yurdumuzda endüstriyel faaliyet mertebesine yükselmiştir. Ülkemizde Sümerbank’ın faaliyete geçmesiyle beraber tekstil endüstrisi yükselme dönemine geçmiş özel sektörün katkılarıyla son zamanlarda değerini katlamıştır. Fazla çalışan kullanılarak istihdam yaratan önemli maddi yatırım alanı oluşturan tekstil endüstrisi insan ihtiyaçlarına cevap vermesiyle beraber ihracat konusunda da hem ülkemizde hem dünyada farklı bir değer taşır. Malzeme kalitesi yüksek imalat giderlerinin düşük olmasıyla tekstil piyasasındaki rekabette ülkemizin üst sınıflarda yer almasını sağlamıştır. Türkiye’de çalışmalarını sürdüren sentetik lif ve saf lif sanayi Adana, Bursa ve İstanbul gibi şehirlerde yoğunlaşmıştır. İhracata yönelik faaliyetler 1980’li yıllardan sonra ekonomik sahalarda ortaya çıkan farklılıklarla hazır giyim iş kolunda ihracat talebi artmıştır. Türkiye, Avrupa’nın en önemli tekstil üretimi sağlayan ve dünya sıralamasında yedinci pamuk üreten ülkedir. Dünyadaki tekstil mamullerinin dışa satımında Türkiye’nin katkısı %3, mekân ve mesken tekstilinde %4,5 ve teknik tekstilde %1,5 katkı sağlamaktadır (Kereci 2014). Dünya sıralamasında tekstil endüstrisi gıda endüstrisinden sonraki en devasa endüstridir. Dünyada üretilen enerjinin %10’u tekstil endüstrisi için sarf edilmektedir (Vajnhandl and Le Marechal 2005). Kumaş ve diğer tekstil ürünlerinin üretiminde suni elyaf, sentetik elyaf ve doğal elyaf kullanılan endüstrinin bir koludur tekstil endüstrisi. Dokuma, örme, fabrikasyon iplik, doğal iplik ya da farklı metotlarla triko, kumaş, halı gibi tekstil mamullerini oluşturur. Kumaşa ve ipliğe baskı, boya, apre gibi muamele uygulanmasını içerir. Fakat kimyasal elyaf, çırçırılama, konfeksiyon tekstil endüstrisi bu gruptan ayrı tutulmalıdır (Öztürk 2019). Tekstil endüstrisinde meydana gelen olay ipliğin yapay, sentetik, doğal yollarla hazırlanmasıdır.

Örme, dokuma ve farklı metotlarla dokunmuş kumaş, örgü kumaş, halı tekstil mamulleri oluşması ile ipliğe, örgü kumaşa, elyafa, dokunmuş kumaşa apre, baskı, boya terbiye uygulaması gerçekleştirilir (Göknil, Toröz et al. 1984).



**Şekil 2.1:** Tarkhan (ilk kıyafet)

## **2.2 Tekstil Sanayisinde İmalat**

### **2.2.1 Hammaddeler**

Hammadde olarak tekstil sanayinde elyaf tercih edilir. Elyaf lar filamanlar yahut kesikli şekilde bulunur. Elyaf lar üç grupta incelenir; doğal elyaf lar, yapay elyaf lar, sentetik elyaf lar. Doğal elyaf lar da kendi içinde ikiye ayrılır; hayvan temelli elyaf lar (protein elyaf lar) ve bitki kökenli elyaf lar (selülozik elyaf lar). Protein kökenli elyaf lar a örnek olarak yün ve ipek verilebilir. Bitki temelli elyaf lar a örnek olarak keten, kenevir, jüt verilebilir. Sentetik elyaf lar ın üretilmesi için içinde selüloz bulunmayan organik maddelerden yararlanılır. Sentetik elyaf cinslerine örnek olarak polyester, naylon, poliakrilik sıralanabilir. Doğal selüloza kimyasal işlemler uygulanması sonucunda yapay elyaf meydana gelir. Suni elyaf lar a verilebilecek örnekler asetat rayon ve vizkos rayon diyebiliriz (Göknil, Toröz et al. 1984, Sözen 1991, Tünay, Kabdasli et al. 1996).

### **2.2.2 İmalat Süreç ve İşlemler**

İşlenen hammaddenin özelliğine göre değişiklik gösterse de genel olarak bakıldığında tekstil endüstrisi için tasarlanan üretim prosesleri benzerdir. Tekstil endüstrisi için ortaya koyulan doğal, yapay ve sentetik elyaf lar işlenerek kumaş ve çeşitli tekstil mamulleri üretilebilir. İçerik olarak tekstil endüstrisinde fabrikasyon ve doğal ipliklerin yol açtığı örme ve dokuma gibi farklı usullerle triko, halı, kumaş gibi türlerine de terbiye muamele çalışması yapılır. En temelde uygulanan süreçte boya, baskı, yıkama gibi işlemler tüm tekstil endüstrisinde denk gelinebilir. Değişik elyaf türleri kullanılırsa ilave edilen

kimyasal maddeler değişeceği için var olan proses ve işlemlerde ona uygun olarak en çok tercih edilen elyaf türüne göre elden geçirilir (Göknil, Toröz et al. 1984). Tekstil mamulleri temelde yaş ve kuru prosesler vasıtasıyla meydana gelir. Kuru prosten sonra yaş proses uygulanır. Büyük oranda boyama ve apre işlemleri yaş proste yapılmaktadır. Kuru proseslerde su kullanılmaz. Kirliliğe sebep olmadığı için kuru prosesler önemsenmez (Sözen 1991). Kuru proses ve yaş proses işlemleri aşağıda detaylıca açıklanmaktadır.

#### Kuru Süreçler

- **İplik İmalatı:** Elde edilen elyaftan iplik çekme ve bzme, eğirme gibi uygulamalar gerçekleşir. Bir sonraki adımda ise bobinlere iletme ve bükme aşamaları gerçekleştirilir (Sözen 1991).
- **İnce ve Uzun rnler:** İmal rg ve büküm seviyesindeki işlemler ortaya çıkar (Sözen 1991).
- **Açık Enli rnler:** İmal dokuma, keeleştirme, sağlamlaştırma tafting, floklaştırma, örgü kademeleri vasıtasıyla meydana gelmektedir (Sözen 1991).

**Tablo 2.1:** Tekstil endüstrisinin farklı basamaklarında ana kirletici bileşenleri (Verma A K ve arkadaşları, 2012)

Kirleticiler	Prosesler	Atıksu Karakteristikleri
İplik atıkları, kullanılmayan nişasta bazlı parçalar	<b>Haşılama</b>	Yüksek BOİ, orta KOİ
Enzimler, nişasta, amonyak	<b>Haşık Sökme</b>	BOİ (%34-50), yüksek KOİ, sıcaklık (70-80C)
Dezenfektanlar, insektisit kalıntıları, NaOH, sürfaktanlar, sabunlar	<b>Pişirme</b>	Yağ asitleri, BOİ (%30), yüksek pH, Sıcaklık(70-80C), koyu renk
Hidrojen, Peroksit, AOX, NaOCl, organikler	<b>Beyazlatma</b>	yüksek pH, TDS
NaOH	<b>Merserizasyon</b>	Yüksek BOİ, yüksek pH, Askıda Katı Madde
Renk, metaller, sülfid, tuzlar, asidite/alkanite, formaldehid	<b>Boyama</b>	Yüksek toksisite, BOİ (%6), yüksek çözünmüş madde, yüksek pH
Üre, çözümler, renk, metaller	<b>Baskı</b>	Yüksek toksisite, yüksek KOİ, yüksek BOİ, yüksek çözünmüş katılar, yüksek pH, güçlü renk
Klorlanmış bileşikler, reçineler, harcanan çözümler, yumuşatıcılar, asetat	<b>Terbiye</b>	Düşük alkanite, düşük BOİ, yüksek toksisite

#### Yaş Süreçler

- **Pişirme:** Doğal pamuk lifleri yapısında selüloz ve nem haricinde yağ, vaks, pektin, hemiselüloz, protein gibi safsızlıkları gidermek için kostik ile yıkama yapılır.
- **Haşılama:** Dokuma esnasında pamuk elyaflarının dayanıklılığının oluşması amacıyla üstlerinin polivinil asetat, polivinil alkol, nişasta, karboksimetil selüloz, modifiye nişasta, sakız gibi cisimlerle bulanması uygulamaya geçirilir. Uygulama esnasında haşılama kazanlarından, haşılama sahasından, tamburlardan, haşıl karıştırıcıdan, fazlalık haşılama solüsyonlarının tahliyesi nedeniyle kirletilmiş sular meydana gelir. Kirletilmiş suların miktarının az olmasına karşın kirletici yükü oldukça fazladır (Sözen 1991).

Haşıl maddeleri çoğunlukla doğal nişastalar, modifiye selülozlar ve sentetiklerdir. Sentetik ipliklerde haşıl maddesi olarak nişasta bileşikleri yerine polivinil alkol (PVA),



karboksi metil selüloz ve poliakrilik asit gibi maddelerin kullanımı biyolojik oksijen ihtiyacını arttıran en büyük etkenler arasına haşıl maddeleri girmektedir (Birgöl, 2006).

- **Haşıl Sökme:** Haşılama uygulamasının ardından gelen kumaş ağartımı işlemi ve boya uygulaması işlemi yapılan diğer aşamadır. Haşılama işleminde gereksinim duyulan şeylerin büyük çoğunluğu suda ayrılmadıkları için yüzey aktif maddeler, asitler, enzimler, alkaliler aracılığıyla haşıl sökme uygulaması gerçekleştirilir. Nişastanın haşıl maddesi olarak kullanıldığı haşılların sökülmesi çeşitli yöntemlere göre yapılabilir. Fakat bu çalışma yöntemlerinin hepsi, önce nişasta makro moleküllerini parçalamak, sonra yıkayarak uzaklaştırmak esasına dayanmaktadır (Tarakçioğlu, 2000). Uygulamadan sonra meydana gelen kirletilmiş suların karakteristik özellikleri haşılama için izlenecek yolu maddeler belirler (Sözen 1991).

- **Kasarlama:** Kasar uygulaması pamuk ve çeşitli elyafların ışıldamasının fazlalaştırılması ve yeşilimtırak natürel renginin yok edilmesi için gerçekleştirilen bir işlemdir. Yünlü harçlar için ise yalnızca açık renklerde boya yapılacak olan kumaş ve trikomeya getirme yapılan işlemdir. Kasar uygulaması için hidrojen peroksit ( $H_2O_2$ ) yahut sodyum hipoklorit ( $NaClO$ ) tercih edilmektedir. Bu uygulamalardan farklı olarak yan kimyasal maddeler ise kostik soda, sülfürik asit, sodyum bisülfid, hipoklorik asit ve yüzey aktif maddeler de tercih edilebilmektedir (Sözen 1991).

- **Merserizasyon:** Selüloz kaynaklı elyaf, pamuk, viskon gibi materyaller ile ısıltı sağlamak için bu uygulamaya başvurulur. Merserizasyon uygulamasında kumaş ve elyaf kuvvetli bazik solüsyon ile ısıtılır. Uygulanan muamele esnasında veya ardından gerçekleştirilebilir (Sözen 1991).

- **Apri-ikmal:** Kumaşın suya dayanıklılığını, kırışmazlık, çekmezlik, ateşe karşı dayanımlılık, metal kaplama, şeffaflık ve buna benzer yetenekleri bünyesinde barındırmayı hedefleyen bir uygulamadır (Sözen 1991).

- **Karbonizasyon:** Pis yün liflerinde var olan bitki kökenli atıkların yıkama ve başka uygulamalar esnasında yok edilemeyen bölümünün bertarafı için gerçekleştirilen kömürleştirme adı da verilen uygulamadır. Karbonizasyon işleminde yün inorganik asitlerle veya ısı verildikçe asidik yetenek barındıran tuzlarla üst düzey sıcaklıklarda uygulama gerçekleştirilmektedir (Sözen 1991).

- **Dinkleme:** Kumaşa talep edilen görüntüyü ve kalıbı verebilmek amacıyla yün liflerin keçeleşme yeteneği kullanılmaktadır. Dinkleme işlemi ikiye ayrılır; yağlı kumaş dinkleme ve yıkanmış kumaş dinkleme şeklinde işlem görür (Sözen 1991).

- **Boyama:** Elyafa renk işleme, kumaşa renk geçirme ve ipliğe rengini verme doğrultusunda gerçekleştirilen bir işlemdir. Boyama süreleri kendi içinde farklılık gösterebilir. Bu süreler sürekli boyama, yarı sürekli boyama ve kesintili boyama şeklinde işlem görmektedir (Sözen 1991).

## **2.2.3 Tekstil Sanayi Atıksu Kaynakları ve Karakteristikleri**

### **2.2.3.1 Tekstil Sanayi Atıksu Kaynakları**

Sanayi kollarında tekstil sanayi biyolojik açıdan ayrışabilen, ayrışamayan pek çok bileşik tercih edilir. Atıksudaki yabancı cisimlerin birçoğu biyolojik olarak ayrışamayan olmasına karşın bazı hallerde açık kanala aktarım, biyolojik parçalanma evresi sürecinde kanalizasyon hattındaki suyun O<sub>2</sub> kademesi, sağlıklı su vasfı açısından istenilen kriterlerin alt kademelerine inebilir ve suyun işlevini yitirmesine sebebiyet yaratabilir. Kimyasal maddeler ve suyun üst düzey kullanımı, epeyce kirli ve aşırı atıksu meydana getirir. Dünya üzerinde senelik 700.000 ton boya imal edildiği literatürde bildirilmiştir. Tekstil endüstrisi bir ton mamule karşılık ortalama 200-350 m<sup>3</sup> atıksu çıkarır, ortalama kirlilik her ton başına 100 kg kimyasal oksijen ihtiyacı cinsinde ifade edilmiştir (Vardar 2006).

### **2.2.3.2 Tekstil Endüstrisinde Alt Kategorilerin Belirlenmesi**

Tekstil endüstrisi atıksuları yoğun renk, yüksek sıcaklık, yüksek KOİ ve çözünmüş katı madde ve zaman zaman yüksek alkalinite ile karakterize edilirler. Uygulanan proseslerin çeşitliliği, atıksu kirletici parametreleri ve atıksu debisini de etkilemektedir. Bu atıksularda, kimyasal proseslerden kaynaklanan toksik bileşikler de bulunabilmektedir. Hammadde ve üretim şemalarının çok fazla olması, tekstil endüstrisi atıksularının karakteristiklerinin tahmin edilmesini ve kirlenme kontrolü teknolojilerinin belirlenmesini zorlaştırmaktadır (Sevimli, 2000).

Alt sınıflandırma yapılırken yalnızca atıksu kalitesi benzerliği bölümlendirme için tatmin etmemektedir. Tekstil endüstrisindeki alt sınıflar imalat muamelesine, hammaddelere, mamullere, su tüketimine ve atıksu özelliklerinin fark gözetmemesine istinaden gerçekleştirilir (Germirli, Orhon et al. 1990). Tekstil sanayisinde atıksu ölçüsü ile karakteri üzerinde tesiri olan en mühim etken hammadde sarfiyatıdır. Hammaddeler pamuk, yün gibi natürel elyaflar ile suni yollarla meydana gelen elyaflar ve bu ürünlerin harmanlanmasıyla elde edilmektedir. Atıksu miktarı ve karakterine tesir eden başka mühim etkenler kimyasal maddeler ve su sarfiyatındaki değişiktir (Germirli, Orhon et al. 1990). Endüstriye dair malumat alt sınıflandırmanın meydana gelmesinde uygulanan yöntemlerin ilk sıralarında

elyaf maddesinin tür(pamuk, sentetik elyaf, yün) bilgisi dahilinde gruplandırılma yapılmaktadır. SKKY'e (Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği) bakılarak tekstil sanayi kirletilmiş suları yedi alt sınıfta incelenir (Anonim 2004).

- Açık Elyaf, İplik İmalatı ve Terbiye
- Dokunmuş Kumaş Terbiyesi ve Türevleri
- Pamuklu Tekstil ve Türevleri
- Yün Yıkama, Terbiye, Dokuma ve Türevleri
- Örgü Kumaş Terbiyesi ve Türevleri
- Halı Terbiyesi ve Türevleri
- Sentetik Tekstil Terbiyesi ve Türevleri

**Tablo 2.2:**Tekstil atıksuyu kirlilik karakterizasyonu

Altkategoriler	Debi (m <sup>3</sup> /gün)	BOI <sub>5</sub>	KOI	TAM	Sülfür
		(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(µg/L)
Yapağı yıkama	38-2800	310-6700	100-18000	120-13000	500
Yün terbiyesi	190-16000	66-750	280-2000	17-240	1100-6000
Az su kullanan işlemler	23-1100	37-2600	120-3000	10-530	1000
<b>Dokunmuş kumaş terbiyesi</b>					
a) Basit işletme	57-21000	19-2000	200-5000	16-2400	25-580
b) Kompleks işletme	42-29000	83-2200	240-5100	40-870	100-120
c) Kompleks işletme ve haşıl sökme	34-21000	120-2600	370-2800	1-1300	20-5600
<b>Örgü kumaş terbiyesi</b>					
a) Basit işletme	11-11000	60-1900	340-19000	21-2200	20-7100
b) Kompleks işletme	110-13000	120-920	540-3200	18-740	50-1500
c) Çorap ürünleri	4-1500	38-790	450-5000	9-180	10-8000
Halı terbiyesi	76-6900	190-560	280-2100	37-210	3-93
Açık elyaf ve iplik terbiyesi	45-9600	43-1600	140-4800	2-4200	1-4400
Dokusuz yüzeyli kumaş imalı	53-1900	64-630	200-3900	59-180	1000
Keçeleştirilmiş kumaş işlenmesi	11-1500	55-380	230-2100	68-280	1200

EPA'nın belirlediği, tekstil endüstrisinde atıksu oluşturan işlemler Tablo 2.1'de; alt kategoriler için atıksu karakterizasyonu ve su kullanımı değerleri Tablo 2.2'de verilmiştir (EPA, 1996). Türkiye'de tekstil endüstrisi için yapılan çalışmalardan elde edilen karakterizasyon, Tablo 2.2'de özetlenmiştir (Orhon ve diğ., 1996)

- Yapağı Yıkama Alt Sınıfı
- Yünlü Kumaş Son Muameleleri

- Az Su Kullanılan Muameleleri
- Dokunmuş Kumaş Son Muameleleri
- Örgü Kumaş Son Muameleleri
- Halı Üretimi Son Muameleleri
- Stok ve Elyaf, Boyama ve Son Muameleleri
- Dokusuz Yüzeyle Kumaş Son Muameleleri
- Keçeleştirilmiş Son Muameleleri
- Koza İşleme ve Doğal İpek İmalatı

**Tablo 2.3:**Alt kategorilere göre oluşan atıksu miktarı

Alt kategoriler	Atıksu Kaynakları	Oluşan Atıksu Miktarı (m <sup>3</sup> /gün)
Yapağı Yıkama	Yıkama, durulama	35-62
Yün Terbiyesi	Boyama, ağartma, yıkama, durulama, karbonizasyon ve yıkama, dinkleme ve yıkama	115-330
Az Su Kullanılan İşlemler	Haşılama	12-13
Dokunmuş Kumaş Terbiyesi	Haşıl sökme, pişirme-yıkama, meriserizasyon-yıkama, ağartma-yıkama, boyama-yıkama, basma, apre-ikmal	110-150
Örgü Kumaş Terbiyesi	Yıkama, pişirme-ağartma, boyama, basma, apre-ikmal	150-165
Halı Terbiyesi	Boyama veya baskı, kurutma, lateks kaplama	60-70
Açık Elyaf ve İplik Terbiyesi	Boyama, ağartma, meriserizasyon, yıkama	150-180
Dokusuz Yüzeyle Kumaş İmalatı	Yapıştırma	-
Keçeleştirilmiş Kumaş İşlenmesi	Durulamalar	-
Koza İşleme ve Doğal İpek Üretimi	Pişirme, ipek çekimi, serisin giderme, ağartma, boyama, yıkama, avivaj, şarj	-

• **Yapağı Yıkama:** Yün elyafı ve kıllarının önemli ölçüde bir ön temizlemeyi gerektirmesinden dolayı, yapağı yıkama kendine has bir özellik taşımaktadır. Bu proseste, ham yapağı iplik üretimine sokulmadan önce yıkanmalıdır. Pamuk veya sentetikler bu aşamada yıkanmazlar (Sevimli, 2000).

• **Yünlü Kumaş Son İşlem:** Bu alt kategori, hayvansal kıl veya yün elyafı-hayvansal kıl karışımı kumaşlara ağartma, yıkama, boyama, ateşe dayanıklı hale getirme, güve yemezlik v.b. işlemlerin uygulanmasını kapsamaktadır. Karbonizleme işleminin yer aldığı yün elyaf veya iplik, diğer hayvansal kıllar ve yün elyafı-hayvansal kıl karışımı için yapılan son işlemler de bu kategori kapsamındadır. Yünlü

kumaş son işlemleri, değişken kimyasal kullanımı ve yüksek kirlilik yükü oluşturması sebebiyle ayrı bir kategori olarak ele alınmıştır. Bu alt kategoride kendine has tekstil boya kullanılmaktadır. Bu alt kategoriye giren endüstrilerin atıksularında boyalardan kaynaklanan krom bulunabilir. Yapağı yıkama, yün elyafında bulunan ve istenmeyen maddeleri gidermek için uygulanır. Yıkamadan sonra su ortamına geçecek ot, saman, yem, tohum, diken, gübre, koyunun dışkı maddeleri, kum, toprak, katran, boya ve yapıştırıcı maddeler ile hayvanları haşere ve hastalıklara karşı koruyan ilaçlı maddeler kirlilik meydana getirmektedir (Sevimli, 2000).

- **Az Su Kullanılan İşlemler:** Bu alt kategori, iplik yapımı, dokuma, kumaş emprenyeleme, lastik kordu ve kord bezi emprenyeleme, halı tafting, halı tabanı yapımı gibi çok çeşitli kuru işlemleri kapsar. Bu alt kategoride esas atık kaynağı, kullanılan donanımdan sızma sonucu oluşan atıksu ve yıkama sularıdır (Sevimli, 2000).

- **Dokunmuş Kumaş Son İşlemleri:** Atıksu kirlilik yükü açısından tekstil sanayisinin mühim bir alt sınıfıdır. Yapılan uygulamalar ağartma, haşıl sökme, merseziyasyon, yıkama, apre, boya ve baskıdır. Dokuma uygulaması esnasında çözgü ipliklerinin yüzeyindeki elyaf uçları yatırarak tüylenmeyi en aza indirmek, iplik yüzeyini kaplayıp sürtünmeden kaynaklı tahribatı azaltmak için ve iplik yapısına girerek dirençlilik ve esneklik özelliklerini artırma amacıyla uygulanan haşılama uygulamasında ipliklere nüfus ettirilen haşıl maddesi aracılığı ile küf yok edici, mantar yok edici ilaçlar gibi evvelden koruyucu sökme olarak isimlendirilen uygulamalar gerçekleştirilmektedir (Göknil, Toröz et al. 1984). Buradaki uygulamaların büyük bir kısmı bazı tesislerde bu uygulamaların bir parçasına yer verilmemesi veya değişik oranlarda uygulanması nedeniyle alt sınıf alt gruplar ile incelenir (Göknil, Toröz et al. 1984).

- **Basit İşlemler:** Dokunmuş kumaş terbiyesi alt sınıf bu alt grup çerçevesinde elyaf hazırlama, yıkama, haşıl sökme, apre uygulamaları ve toplam imalatın %5'lik kısmından daha çoğunu boyama, basma ve ağartma uygulamalarının herhangi birinin gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir. Kompleks ve haşıl sökmeli kompleks tesisler alt sınıf dahiline alınmayan tüm dokunmuş kumaş terbiyesi tesislerin bu alt grup dahilinde değerlendirilmektedir (Göknil, Toröz et al. 1984).

- **Kompleks İşletmeler:** Dokunmuş kumaş terbiyesi alt sınıfının bu alt grubu dahilinde elyaf maddesini hazır etmek, haşıl sökme (totalde imalatın %50'inden daha

düşük) merserize, yıkama, apre uygulamaları ile beraber boya yapmak, basma, ağartma uygulamalarından en az iki adetinin (totalde imalatın %5'lik kısmından çoğunun) işlemi var olmaktadır (Göknil, Toröz et al. 1984).

- **Haşıl Sökmeli Kompleks Tesisler:** Dokunmuş kumaş terbiyesi alt sınıflandırmanın bu alt grubu dahilinde elyaf hazırlama, haşıl sökme (toplam imalatın %50'lik kısmından daha çoğuna) ağartma, merserize, yıkama, apre uygulamaları ile on bakı ve boyama uygulamaların en düşük iki adetinin (toplam imalatın %5'lik kısmından daha yükseği) işlemi gerçekleştirilmektedir (Göknil, Toröz et al. 1984).

- **Örgü Kumaş Son İşlemler:** Bu alt sınıfta fazlaca örgü veya pamuklu sentetik kumaşlara boyama, apre, yıkama, baskı, ağartma uygulamaları gerçekleştirilmektedir. Dokunmuş kumaş son uygulamalardan değişik merserizasyon, haşıl sökme, haşıllama uygulamaları bu alt sınıflandırmada bulunmaz. Dolayısıyla daha düşük kirlilik yükü mevcuttur. Tesislerde bu alt sınıflardaki uygulamaların gerçekleştirilmesinde değişiklik bu alt sınıfın da alt gruplara dağılmasına sebep olur (Göknil, Toröz et al. 1984).

- **Basit Tesisler:** Örgü kumaş terbiyesi ile birlikte alt grup dahilinde elyaf hazırlığı yapmak, apre, yıkanma işlemi uygulamaları ve yapılan tüm imalatın %5'lik kısmından daha çoğunun boyama, ağartma, baskı uygulamalarından herhangi bir tanesinin işlenmesi ele alınmıştır. Kompleks ve çorap tesisleri dahiline alınmayan tüm örgü kumaş terbiyesi tesisleri bu alt grup dahilinde incelenmektedir (Göknil, Toröz et al. 1984).

- **Kompleks Tesisler:** Örgü kumaş terbiyesi işlemi ile alt grup dahilinde elyaf hazırlığı yapmak, apre, yıkama muamelesi uygulamaları ve gerçekleştirilen bütün imalatın %5'lik kısmından daha çoğuna boyama, baskı, ve ağartma uygulamalarından en az iki adetinin işlenmesi var olmaktadır (Göknil, Toröz et al. 1984).

- **Çorap Tesisleri:** Örgü kumaş terbiyesinin gerçekleşmesi ile alt grup dahilinde tüm çeşit çoraplar için boyama ve apre uygulamaları gerçekleştirilir (Göknil, Toröz et al. 1984).

- **Halı İmalatı Son İşlemleri:** Halı imalatında ekseri olarak sentetik olarak imal edilen iplik ve ayrıyeten birkaç yün ve pamuklulardan yararlanılmaktadır. Alt sınıfın alt grubunda yer alan uygulamalar apre, boyama, yıkama ve basma teknikleri kullanılır. Halı terbiyesi tekniğin çoğunluğunu kaplamaktadır. Halı tafting, halı tabanı

oluşturma veya ipliğe boya yapma işlemi uygulamaları da mevcut olan işletmeler bu alt sınıf içinde yer almaktadır (Göknil, Toröz et al. 1984).

- **Stok Elyaf Son İşlem:** Bu alt sınıfta haşıl sökme, haşıllama uygulamaları yapılmaktadır. Örgü kumaş son uygulamalarından değişik tarafı ise su sarfiyatı ve merserizasyondur. Sınıflandırmada elyafın boyanması, yıkanması ve son uygulamaları meydana gelmektedir. Halı elyafı, dikiş ipliği ve tekstil elyafı imal edilmektedir. Elyaf naturel, sentetik ve bunların kompleks halinden meydana gelmektedir.

Ağartma, temizleme, boyama, yıkama, merserizasyon, son uygulamalar bu alt sınıf dahilindedir (Göknil, Toröz et al. 1984).

- **Dokusuz Yüzeyli Kumaş İmalatı:** Bu alt sınıf dahilinde pamuk, yün ve sentetik materyallerin yalnız halde veya kompleks halde mekanik termal ve yapıştırıcılarla bir araya getirilerek dokusuz yüzeyli mamullerin imalatı meydana gelmektedir (Göknil, Toröz et al. 1984).
- **Keğeleştirilmiş Yüzeyli Kumaş İmalatı:** Keğeleştirme ve dinkleme uygulamaları ile dokusuz yüzeyli mamullerin imalatı bu alt sınıf dahilindedir. Keğeleştirme uygulamasında tüketilen tipik elyaflar, rayon, yün-rayon-polyester ve yün kompleksidir (Göknil, Toröz et al. 1984).
- **Koza İmal ve Natürel İpek İmalatı:** Alt sınıflandırmada ipek malzemesini çekme işlemi ve pişirme uygulamaları aracılığı ile ipekten elde edilen ipliğin imalatı geręekleřtirilmektedir. Kozalardan lif uçlarının tespiti yapılarak çekme işleminin amacı kozaların kaynar su ve buharla muamele edilmesi pişirme (koza kaynatma) adı verilir. Pişirme işleminde hedef liflerdeki serisin bölümünü yumuşatmak ve bu esnada kozanın içinin su ile dolmasına neden olmaktadır (Göknil, Toröz et al. 1984).

#### 2.2.4 Tekstil Sanayisi Atıksu Karakterizasyonunun Alt Sınıflarının İncelenmesi

Tekstil sanayisi kirletilmiş suları KOİ, BOİ, AKM konsantrasyonu bakımından oldukça yüksek değerleri mevcut olan, alkalinite ve sıcaklık miktarları üst düzey, yoğun renk içeren kullanılmış sulardır. Ara ara zehirli bileşenleri de bünyesinde barındıran tekstil endüstrisi kullanılmış suları kirlilik yoğunluğu ve hacmi açısından en uç parametrelerde saptanabilmektedir. Kirletilmiş suyun miktar ve kalite değerlerini saptayan esas etkenler; süreçlerde tüketilen kimyasal maddeler, bütün tekstil süreçlerini çerçeveleyen temel

uygulamalar, işletme içi kontrollerin gerçekleştirilme kademesi ve işlene elyafın cinsi olarak değerlendirile bilinir (Göknıl, Toröz et al. 1984).

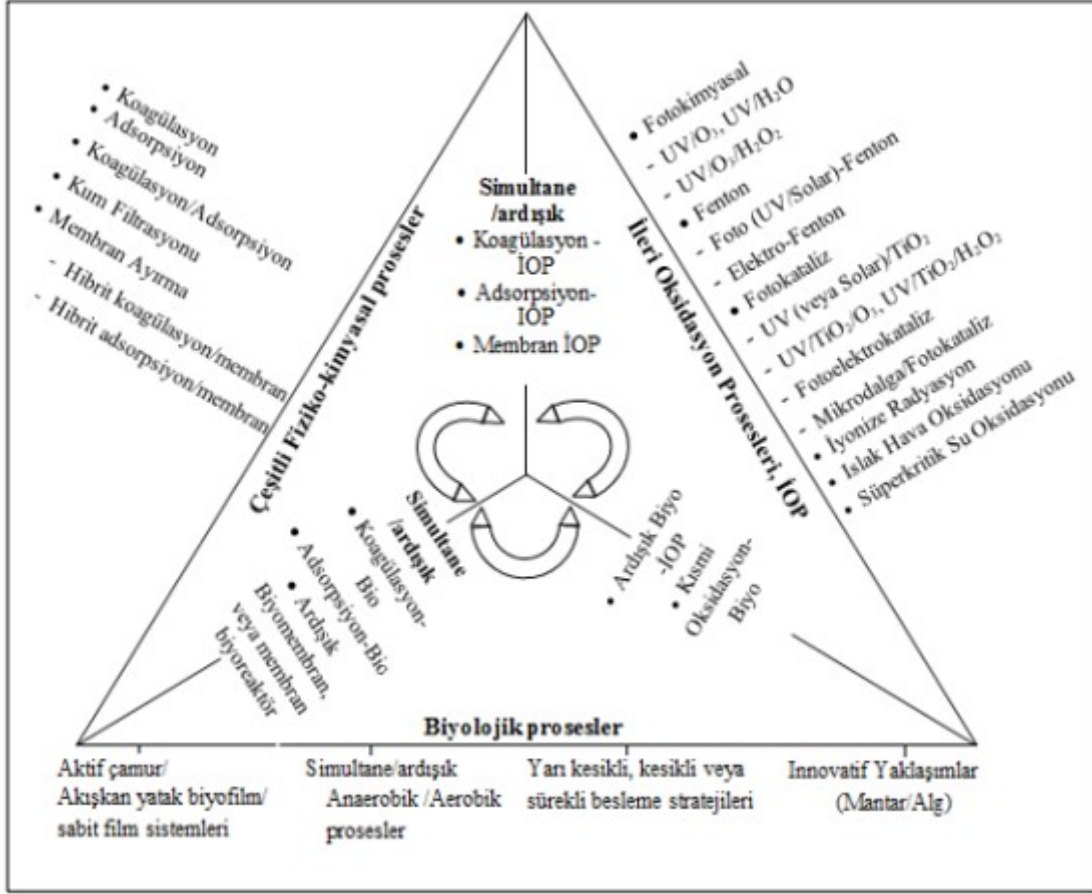
**Tablo 2.4:**Alt kategorilere göre kirletici türleri

Alt Kategoriler	Kirletici Parametreler
Yapağı yıkama	BOI <sub>5</sub> , TAM, KOI, Yağ ve gres, pH
Yün Terbiyesi	BOI <sub>5</sub> , TAM, KOI, T.Cr, Fenol, Sülfür, pH
Az Su Kullanılan İşlemler	BOI <sub>5</sub> , TAM, KOI, pH
Dokunmuş Kumaş Terbiyesi	BOI <sub>5</sub> , TAM, KOI, T.Cr, Fenol, Sülfür, pH
Örgü Kumaş Terbiyesi	BOI <sub>5</sub> , TAM, KOI, T.Cr, Fenol, Sülfür, pH
Halı Terbiyesi	BOI <sub>5</sub> , TAM, KOI, T.Cr, Fenol, Sülfür, pH
Açık Elyaf ve İplik Terbiyesi	BOI <sub>5</sub> , TAM, KOI, T.Cr, Fenol, Sülfür, pH
Dokusuz Yüzeyle Kumaş imalı	BOI <sub>5</sub> , TAM, KOI, T.Cr, Fenol, Sülfür, pH
Keçeştirilmiş Kumaş İşlenmesi	BOI <sub>5</sub> , TAM, KOI, Fenol, Sülfür, pH
Koza İşleme ve Doğal İpek Üretimi	BOI <sub>5</sub> , TAM, KOI, T.Cr, Fenol, Sülfür, pH

### 2.2.5 Elektrokimyasal Yöntemler

Elektrokimyasal arıtım metotlarında koagülasyon, flotasyon, çöktürme, adsorbsiyon, absorbsiyon düzenekleri yer alır(Ihara, Kanamura et al. 2004). Elektrokimyasal arıtım süreçleri çok fonksiyonlu arıtım metotlarını bünyesinde ihtiva etmekte ve bu sebepten tercih sebebi olmaktadır. Elektrot tipi, sisteme aktarılan akım, elektriksel volt ve süreç tipi Elektrokimyasal süreçleri birbirinden ayıran parametrelerdir. Elektrot tipi düzeneğin elektrokoagülasyon ya da elektrooksidasyon yöntemiyle mi çalışacağını kararının verilmesini sağlar. Boyar madde ihtivası bulunan atıksularda arıtma prosesi seçiminde kullanabilecek diyagram Şekil2.3 de verilmiştir.





Şekil 2.2: Boyama prosesi atık suları arıtımında kullanılan arıtma prosesleri diyagramı (Açıkgöz, 2019)

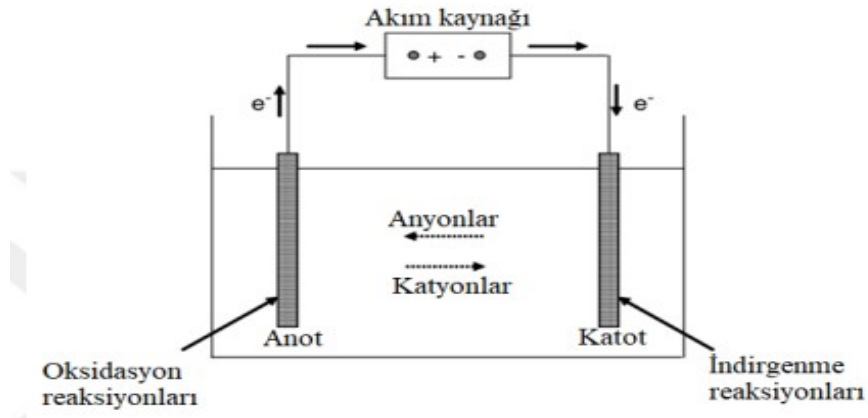
### 2.2.5.1 Elektrokimyasal Arıtım Türleri

Tekstil atıksularından boyarmaddenin uzaklaştırılması için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu işlem, toksik ve inorganik kirleticinin doğrudan veya dolaylı oksidasyon yoluyla tekstil atıksularının arıtımında çok etkilidir. Elektrokimyasal işlemin çoğu, cıva elektrod, demir, bor katkılı elmas elektrot, platin folyo, Al, anot olarak titanyum/platin tekstil atığının işlenmesinde katot olarak SS304 içeren boyarmaddenin parçalanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem çok az miktarda kimyasal kullanım gerektirdiği için çok ekonomik ve kolaydır (Gosavi, Sharma, 2013).

### 2.2.5.2 Elektrooksidasyon

Elektrooksidasyon; grafit (Sathish and Viswanath 2005; Sundarapandiyan et al. 2010), kaplanmış titanyum (Kong et al. 2006; Dutra et al. 2010), platin (Fino et al. 2005; Carbonio et al. 2009), bor kaplı elmas (Anglada et al. 2009; Domínguez et al. 2010) gibi

çözünmeyen bir anot malzemesi kullanılarak organik maddelerin direk veya indirekt olarak oksitlenmesi esasına dayanır. Organik kirlilikler elektrokimyasal oksidasyon yöntemiyle direk veya dolaylı oksidasyon prosesi ile anot yüzeyinde parçalanabilir (FİL 2014). Elektrooksidasyon prosesinin temelinde çözünmeyen elektrotlar (Ti, Ru, Pt, paslanmaz çelik ve benzeri) tercih edilmelidir. Elektroliz aracılığıyla çıkan gazlar ve ara ajanlar ile arzulanan oksidasyon gerçekleştirilir. Bu uygulama ile pek çok maddenin oksidasyonu sağlanırken biyolojik açıdan ayrışabilirliği güç olan bileşimler biyolojik açıdan kolay ayrıştırılıp organik bileşiklere yahut CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O gibi son ürünlere çevrilebilir. Elektrooksidasyon sürecinde etkili rol oynayan elektrot anottur. Dolayısıyla işleyen süreçte aktif rol alan başlıca karakteristik özelliği anodun katalitik faaliyetidir. Ayriyeten pH, sıcaklık, akım, organik bileşiklerin ve farklı oksidantların difüzyon hızı da etken parametrelerdendir. Bu durumda anotun yeterli miktarda yüksek potansiyeli mevcutsa kirletilmiş suda var olan klorür iyonları kloro çevirebilir ya da doğrudan oksidasyon gibi sekonder reaksiyonlar da oluşabilir (İlhan, Kurt et al. 2007).



**Şekil 2.3:**Elektrooksidasyon şemasal gösterimi



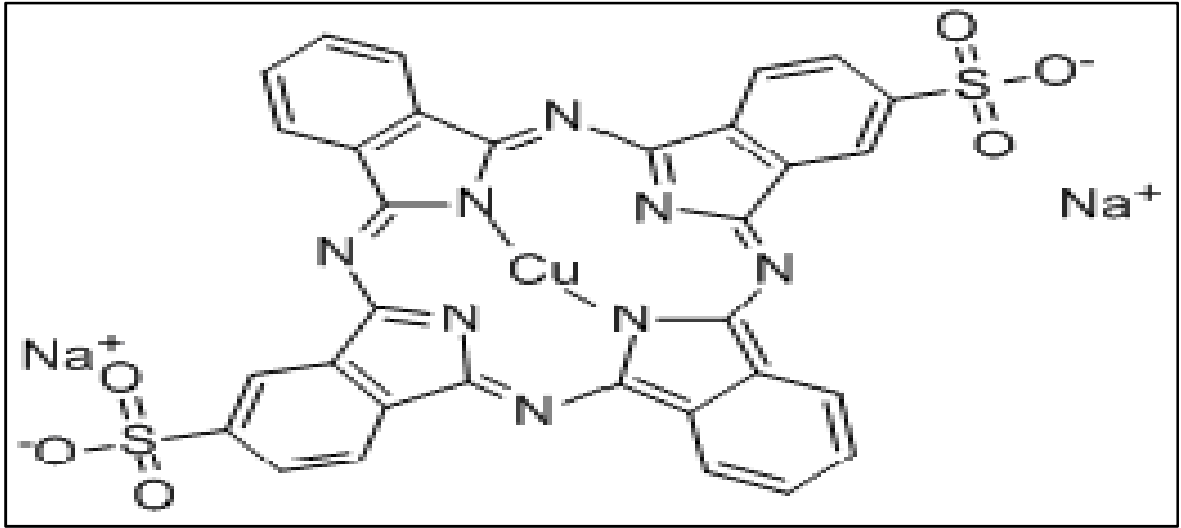
Klor güçlü oksidant özelliği gereği bir takım organik bileşikleri oksitleyebilmektedir. Gerçekleştirilen araştırmalarda kirletilmiş su tipine göre çeşitlilik gösterse bile elektrooksidasyon süreci ortalama %90 civarında KOİ giderimi sağlamaktadır. Elektrooksidasyon süreçlerinde daha çok Ti/Pt-Ir, Ti/RhO<sub>x</sub>-TiO<sub>2</sub>, Ti/PDO-CO<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, TiO<sub>2</sub>/TiRuO<sub>2</sub>, Ti/Pt, PbO<sub>2</sub>/SnO<sub>2</sub>, PbO<sub>2</sub>/Ti, SnO<sub>2</sub>, PbO<sub>2</sub>, BDD ve benzeri anot elektrotlar tercih edilmektedir. Çamur meydana gelmemesi ve tesirli bir giderim sağlamasından dolayı sıkça tercih edilen bir metottur.

### 3. MATERYAL ve METOT

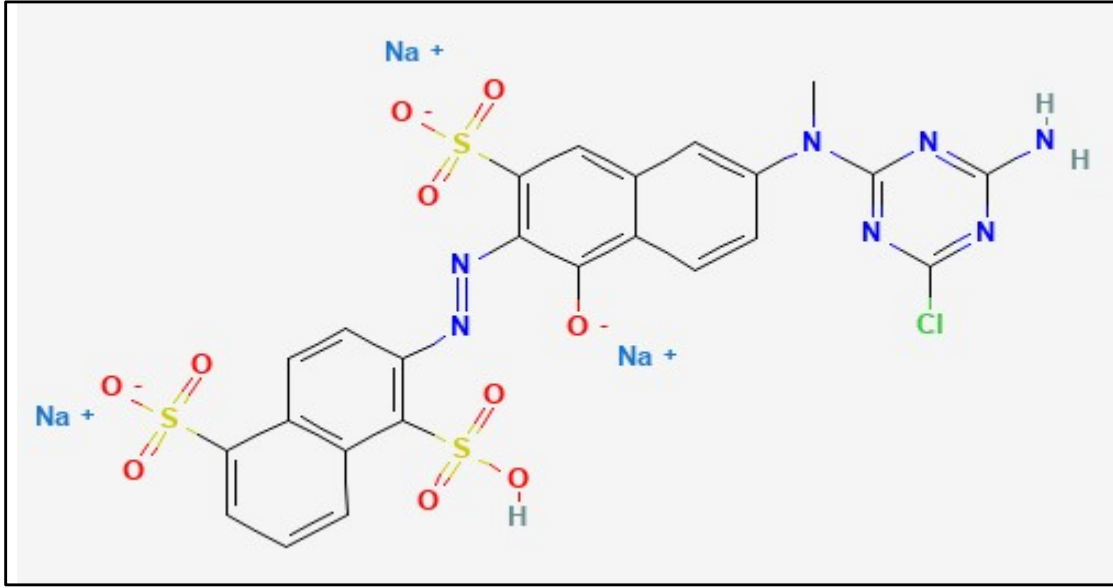
Bu çalışmada Bomaplex Blue 50 mg alınıp 500 mL kullanım suyunda çözdürülmüş ve 1000 mL kullanım suyu ile tamamlanarak stok boyar madde çözeltisi olarak kullanılmıştır. Drimarine Orange'dan 50 mg alınıp 500 mL kullanım suyunda çözdürülmüş ve 1000 mL kullanım suyu ile tamamlanarak stok boyar madde çözeltisi olarak kullanılmıştır.

#### 3.1 Kullanılan Boyar Madde

Deneylerde tercih edilen boyar malzemeler Bomaplex Blue ve Drimarine Orange olarak seçilmiştir. Drimarine Orange kimyasal formülü  $C_{24}H_{15}ClN_7Na_3O_{10}S_3$  ve moleküler ağırlığı 762 g/mol olup Bomaplex Blue kimyasal formülü  $C_{32}H_{14}CuN_8Na_2O_6S_2$  olup moleküler ağırlığı 780,2 g/mol'dur. Bomaplex Blue ve Drimarine Orange boyalarının oksit yüzeyler ile çoğunlukla kuvvetli bir etkileşimde bulunurlar. Bomaplex Blue boyar madde 620 nanometre dalga boyunda absorbands olduğunu ve Drimarine Orange boyar madde 490 nanometre dalga boyunda absorbands olduğunu görülmüştür.



Şekil 3.1: Bomaplex Blue kimyasal formülü



Şekil 3.2: Drimarine Orange kimyasal formülü

### 3.2 Deney Düzenegi

Elektrooksidasyon prosesinde 2000 mL hacimli ceketli cam reaktör tercih edilmiştir. Elektrot plakaları 70x100 mm boyutlarında ve 3080 cm<sup>2</sup> yüzey alanına sahiptir. Tüm plakaların yaklaşık ıslak yüzey alanı 2464 cm<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Ti/IrO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub> anot (DSA tipi) ve paslanmaz çelik katot (plaka tipi) elektrotlar tercih edilmiştir. Reaktör kabında beş anot ve beş katot elektrot monopolar düzenek oluşturularak paralel bağlı aralarında 5 mm mesafe olacak şekilde dizilmiştir. Tüm elektrotların tamamı reaktör içindeki atıksuya daldırılmıştır. Voltaj ve akım ölçümü dijital “Control Unit PE280” marka güç kaynağı ile yapılmıştır. Reaktördeki karıştırma işlemini dijital “Yellowline MST” marka manyetik karıştırıcı tercih edilmiştir. Sistemin çalışması için doğru akım güç kaynağı seçilmiş ve manyetik karıştırıcı ile solüsyon devamlı karıştırılma halindedir. Başlangıç şartlarını belirlemek için numune alınarak pH, sıcaklık, iletkenlik “Thermo Orion” marka cihaz ile ölçülmüştür. Sistemin sıcaklığının sabit tutulması için soğutucu cihaz kullanılmıştır. Renk tayinin yapılması için “Lovibond” marka fotometre tercih edilmiştir. Fotometrenin dalga boyu 420-470 nanometre olarak belirlenmiştir. Elektrooksidasyon yöntemiyle boyar madde içeren sentetik suda pH, sıcaklık, iletkenlik, akım, volt, renk parametreleri incelenmiştir. Sentetik suya farklı destek elektrolit türleri (NaCl, KCl, NaNO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), farklı destek elektrolit konsantrasyonları ilave edilerek giderim oranlarına katkısı değerlendirilmiştir.

### 3.2.1 Deneyin Yapılışı

Deney 1 Amper, 200rpm karıştırma hızı 250 mg/L başlangıç konsantrasyonu ve 25°C sıcaklıkta yapılmıştır. 1000 mL stok çözeltilerden 5 mL numune otomatik pipet ile çekilerek plastik tüplere aktarılmıştır. Toplam deney süresi 60 dakika olarak tanımlanmıştır. Numuneler başlangıç, 5. dk, 10. dk, 15. dk, 20. dk, 30. dk, 45. dk ve 60. dk olmak üzere 8 adet alınmıştır. Alınan her numunenin sıcaklık, iletkenlik, pH değerlerine bakılıp 10 mL cam numune tüplerine alınarak renk tayini yapılmıştır.

### 3.3 Hesaplama

Renk tayini Hach Lange DR 5000 fotometresinden standart boyar madde çözeltilerini 3.2.1'de verilen şartlarda spektrumları alınmış ve boyar madde Bomaplex Blue için 620 nm Drimarine Orange boyar madde için 490 nm'deki absorban değerleri okunarak bu değerlere karşılık gelen standart çözeltili konsantrasyonları arasında ölçü grafikleri hazırlanmıştır.

Enerji tüketimi ise elektrotların yüzey alanı hesaplanır. Toplam elektrot sayısı ile çarpılır. Elde edilen sonuç düzeltme faktörü ile çarpılır. Elde edilen alan sonucu sistemden geçen akım değerine bölünerek sonuca varılır.

Renk giderim verimi hesaplanırken;

$$\% \text{ Renk Giderim Verimi} = ((C_0 - C) / C_0) * 100 \quad (3.1)$$

Burada;

C<sub>0</sub>: Giriş konsantrasyonu, mg/L

C: Çıkış konsantrasyonu, mg/L

% Renk Giderim Verimi Verim: Kütlesel olarak sistemin verimidir.

Enerji Tüketimi hesaplanırken;

$$J = I/A \quad (3.2)$$

Burada;

J: akım yoğunluğu mA/cm<sup>2</sup>

I: Akım Şiddeti mAmpere,

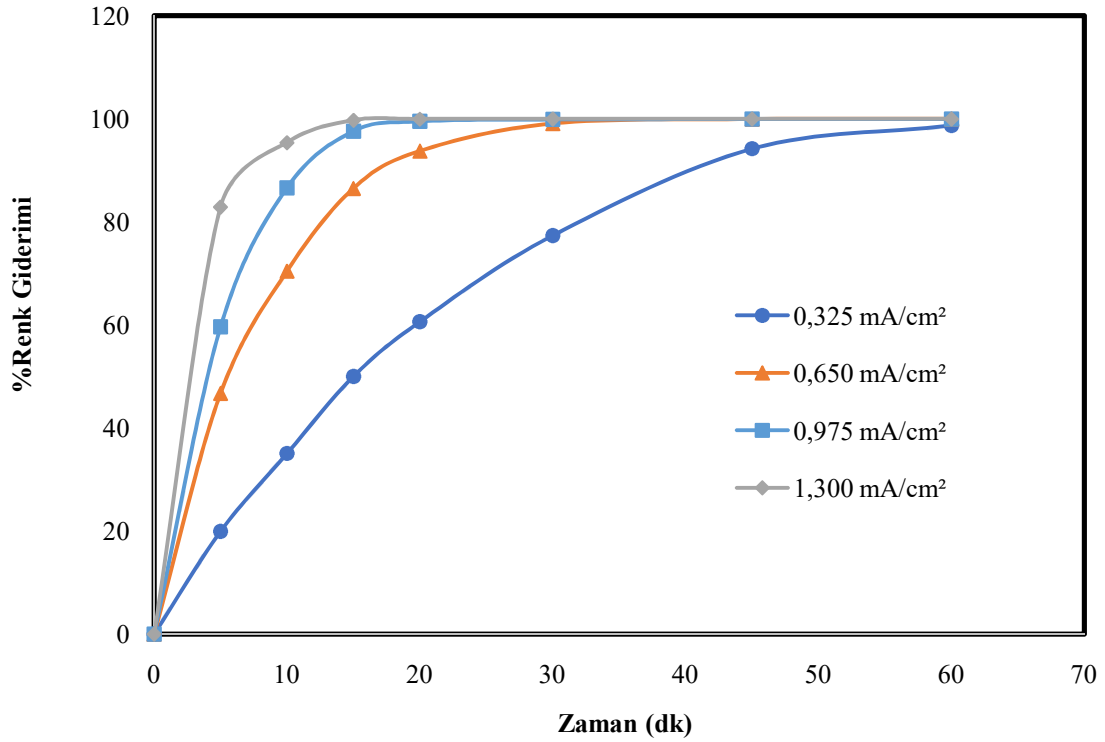
A: Aktif anot yüzey alanı, cm<sup>2</sup>'dir.

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

### 4.1 BOMAPLEX BLUE

#### 4.1.1 Akım Yoğunluğunun Renk Giderimine Etkisi

Bütün elektrokimyasal süreçlerde akım yoğunluğu tepkime hızını etkileyen en mühim değerdir. Akım yoğunluğu elektroosidasyon proseslerinde proses süresini azaltmaktadır. Boyar maddenin elektrooksidasyon metodu ile akım yoğunluğuna olan etkisi bu çalışmada incelenmiştir. Deney şartları boyar maddenin başlangıç konsantrasyonu 250 mg/L, sıcaklığı 25°C, pH'ı doğal aralıklarda tutulmuş, karıştırma hızı 200 rpm ve destek elektrolit konsantrasyonu 5 mM olarak belirlenmiş, destek elektrolit türü olarak NaCl seçilmiştir.

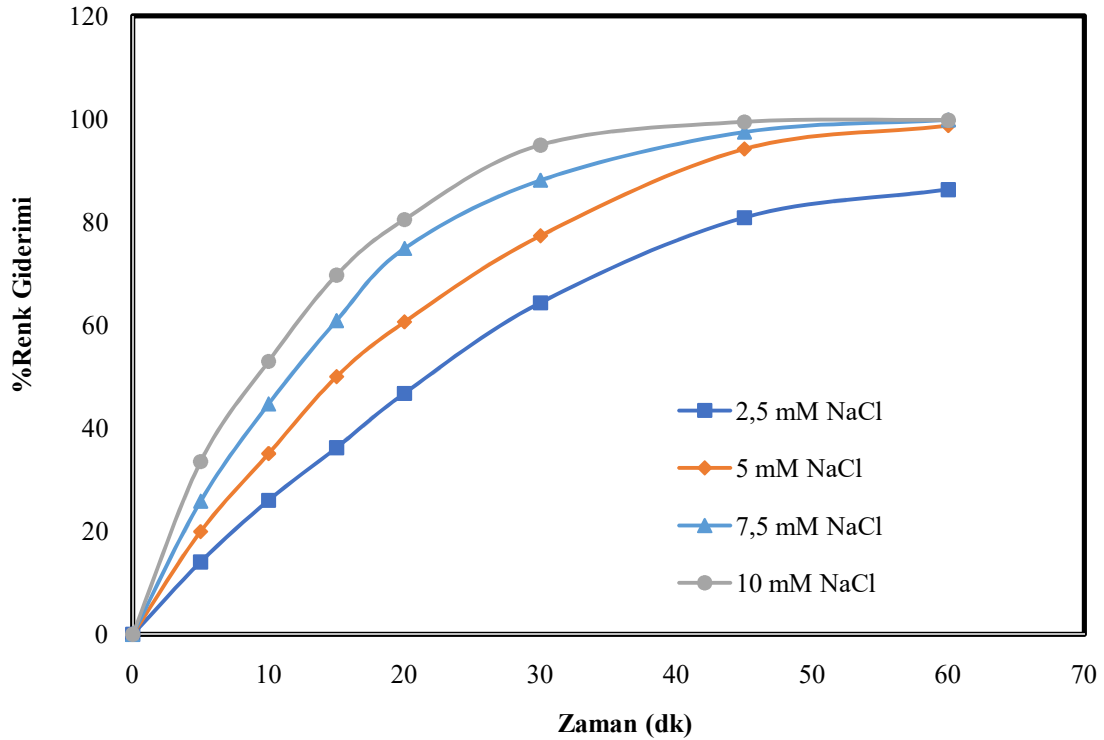


Şekil 4.1: Akım yoğunluğunun zamana karşı renk giderimine etkisi

Yapılan çalışmada akım yoğunluğu arttıkça giderim verimi de artmaktadır. Sistemden geçen akımın değeri artırıldıkça arıtma zamanı azalır. Yapılan çalışmada farklı akım yoğunlukları (0,325 mA/cm<sup>2</sup>, 0,650 mA/cm<sup>2</sup>, 0,975 mA/cm<sup>2</sup>, 1,300 mA/cm<sup>2</sup>) kullanılarak hangi dakikada ne kadar giderim yapıldığı tespit edilmiştir. 0,325 mA/cm<sup>2</sup> akım yoğunluğunda renk giderim verimi %98,73 olarak saptanmıştır. 0,650 mA/cm<sup>2</sup> akım yoğunluğunda renk giderim verimi %99,91 giderim elde edilmiştir. 0,975 mA/cm<sup>2</sup> akım yoğunluğunda renk giderim verimi %99,94 olarak belirlenmiştir. 1,300 mA/cm<sup>2</sup> akım yoğunluğunda renk giderim verimi %99,99 şeklinde hesaplanmıştır.

#### 4.1.2 Destek Elektrolit Konsantrasyonunun Renk Giderimine Etkisi

Deney şartları boyar maddenin başlangıç konsantrasyonu 250 mg/L, sıcaklığı 25°C, pH'ı doğal aralıklarda tutulmuş, akım yoğunluğu 0,325 mA/cm<sup>2</sup> olarak sabit tutulmuş, karıştırma hızı 200 rpm olarak belirlenmiş, destek elektrolit türü olarak NaCl seçilmiştir. Bu deney koşullarında 2,5 mM NaCl, 5 mM NaCl, 7,5 mM NaCl, 10 mM NaCl destek elektrolit konsantrasyonlarında renk giderim verimleri incelenmiştir.

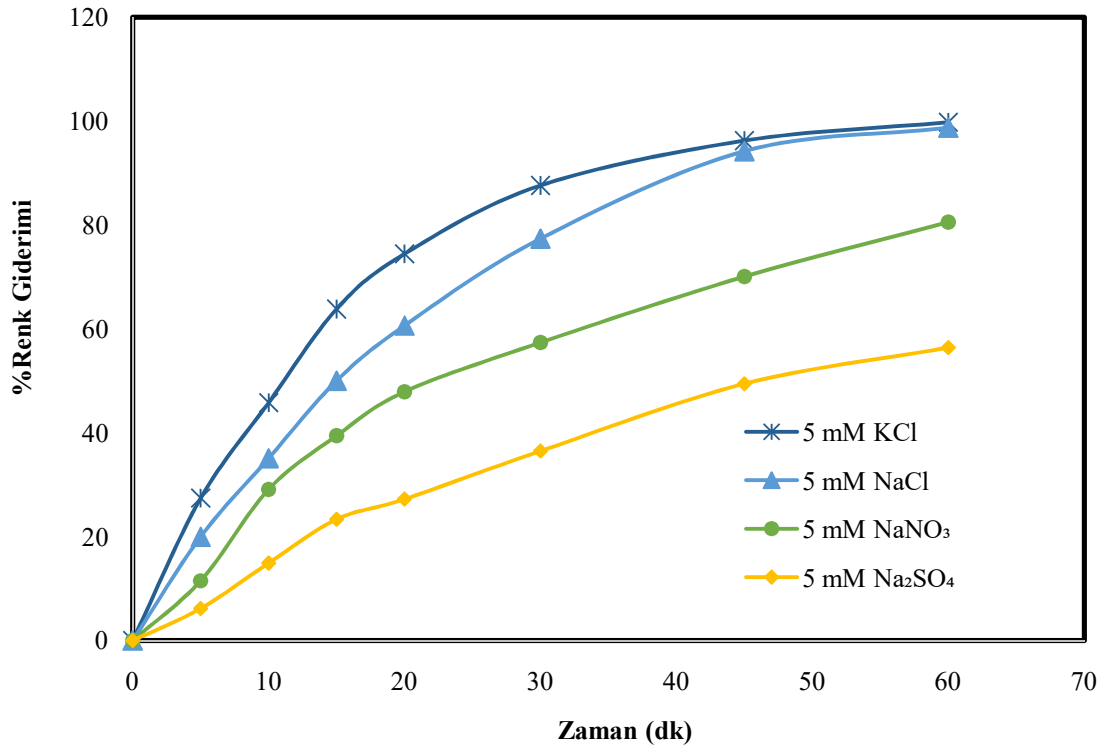


**Şekil 4.2:** Destek elektrolit konsantrasyonunun zamana karşı renk giderimine etkisi

Grafikte belirtildiği gibi destek elektrolit konsantrasyonundaki artış renk giderim verimini de artırmıştır. Zaman içinde destek elektrolit konsantrasyonunun da etkisiyle renk giderim veriminin artışı gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmada incelendiği üzere 2,5 mM NaCl destek elektrolit konsantrasyonunun renk giderim verimi %86,32 olarak gözlemlenmiştir. 5 mM NaCl destek elektrolit konsantrasyonunda renk giderim verimi %98,73 olarak hesaplanmıştır. 7,5 mM NaCl destek elektrolit konsantrasyonunda renk giderim verimi %99,83 olarak saptanmıştır. 10 mM NaCl destek elektrolit konsantrasyonun da renk giderim verimi %99,90 olarak bulunmuştur.

### 4.1.3 Destek Elektrolit Türünün Renk Giderimine Etkisi

Destek elektrolit türü dolaylı oksidasyonu destekleyecek ara bileşiklerin oluşması durumunda renk gideriminin arttığı görülmüştür. Yapılan çalışmada destek elektrolit türlerindeki değişimle zaman içerisindeki renk giderimi incelenmiştir. Deney şartları boyar maddenin başlangıç konsantrasyonu 250 mg/L, sıcaklığı 25°C, pH'ı doğal aralıklarda tutulmuş, akım yoğunluğu 0,325 mA/cm<sup>2</sup> olarak sabit tutulmuş, karıştırma hızı 200 rpm olarak belirlenmiş, destek elektrolit konsantrasyonu 5 mM olacak şekilde ayarlanmıştır.



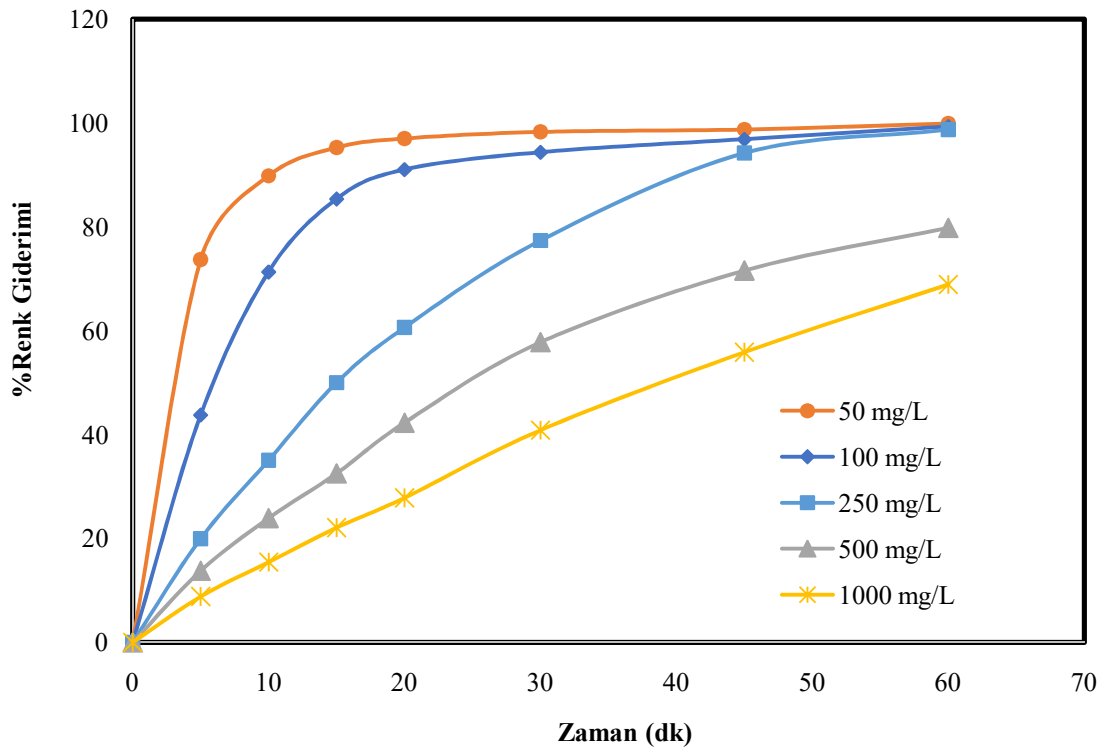
Şekil 4.3: Destek elektrolit türünün zamana karşı renk giderimine etkisi

Destek elektrolit türü olarak 5 mM KCl, 5 mM NaCl, 5 mM NaNO<sub>3</sub>, 5 mM Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> seçilmiştir. Destek elektrolitteki Cl<sup>-</sup> iyonlarının fazla oluşu giderim verimini artırmaktadır. Yapılan çalışmada 5 mM KCl kullanıldığında renk giderim verimi %99,76 olarak hesaplanmıştır. 5 mM NaCl kullanıldığında renk giderim verimi %98,73 olarak hesaplanmıştır. 5 mM NaNO<sub>3</sub> kullanıldığında renk giderim verimi %80,57 olarak hesaplanmıştır. 5 mM Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> kullanıldığında renk giderim verimi %56,42 olarak hesaplanmıştır.



#### 4.1.4 Boyar Madde Konsantrasyonunun Renk Giderimine Etkisi

Yapılan çalışmada deney süresi içerisindeki gözlemlerde atıksudaki boyar madde konsantrasyonu ile renk giderim verimi arasında ters bağıntı olduğunu göstermiştir. Atıksudaki boyar madde konsantrasyonu arttıkça renk giderim verimi azalmaktadır. Kullanılan boyanın konsantrasyonu incelenirken deney şartlarının standardizasyonu sıcaklığı 25°C, pH'ı doğal aralıklarda tutulmuş, akım yoğunluğu 0,325 mA/cm<sup>2</sup> olarak sabit tutulmuş, karıştırma hızı 200 rpm olarak belirlenmiş, destek elektrolit konsantrasyonu 5 mM ve destek elektrolit türü NaCl olacak şekilde ayarlanmıştır.



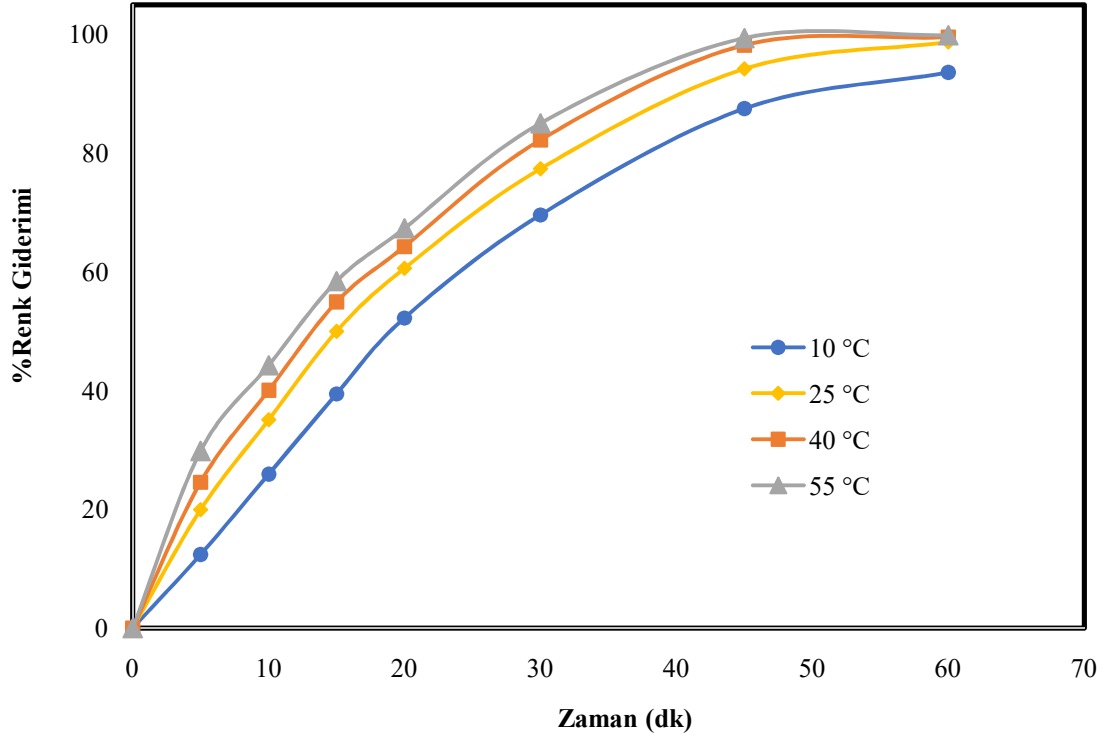
Şekil 4.4: Boyar madde konsantrasyonun zamana karşı renk giderimine etkisi

Boyar madde konsantrasyonu 50 mg/L, 100 mg/L, 250 mg/L, 500 mg/L, 1000 mg/L seçilerek incelenmiştir. Grafikten elde edilen bilgiler doğrultusunda zaman içerisinde konsantrasyonu fazla olanın renk giderim verimi en azdır. Konsantrasyon renk giderimi etkileyen parametrelerden biridir. Yapılan çalışmaya istinaden 50 mg/L konsantrasyonda renk giderim verimi %99,92 olarak tespit edilmiştir. 100 mg/L boyar madde konsantrasyonunda renk giderim verimi %99,34 şeklinde bulunmuştur. 250 mg/L boyar madde konsantrasyonuna sahip olduğunda renk giderim verimi %98,73 olarak belirlenmiştir. 500 mg/L boyar madde konsantrasyonunda gözlemlenen renk giderim

verimi %79,81 olarak bulunmuştur. 1000 mg/L boyar madde konsantrasyonu içerdiğinde ise renk giderim verimi %68,92 olarak hesaplanmıştır.

#### **4.1.5 Sıcaklığın Renk Giderimine Etkisi**

Genellikle, sıcaklıktaki artış prosesin etkinliğini artırmaktadır (Morsi et al. 2011; Ghalwa et al. 2013). Sıcaklık artışı ile atıksuyun viskozitesi düşecektir böylece kirleticilerin anot yüzeyine difüze olmaları kolaylaşacak ve direk elektrookside olma ihtimalleri artacaktır. Ayrıca sıcaklık artışının çoğu kimyasal reaksiyonlarının hızını artırdığı bilinmektedir. Bu nedenle sıcaklık artışı ile birlikte  $OCI^-$  (hipoklorit) ve  $HOCl$  (hipokloröz asit)'nin oluşma potansiyellerinin artması muhtemeldir. Bu iki ara ajanın artışı ile dolaylı elektrooksidasyonun da artış göstermesi beklenir. Sıcaklık renk gideriminin de etken bir parametredir. Sıcaklık diğer parametreler ile de bağlantılıdır. Atıksuyun sıcaklığı artırılması, iyon ve tanecik hızlarının artmasına nedeni ile kimyasal tepkime hızının artmasına ve arıtma zamanının azalmasına neden olmuştur. Sıcaklık artışı ile suların elektriksel iletkenlikleri de artar (Hem, 1985). Kullanılan atıksuyun sıcaklığı incelenirken deney şartlarının standardizasyonu pH'ı doğal aralıklarda tutulmuş, akım yoğunluğu  $0,325 \text{ mA/cm}^2$  olarak sabit tutulmuş, karıştırma hızı 200 rpm olarak belirlenmiş, destek elektrolit konsantrasyonu 5 mM, destek elektrolit türü NaCl ve boyar madde konsantrasyonu 250 mg/L olacak şekilde ayarlanmıştır.

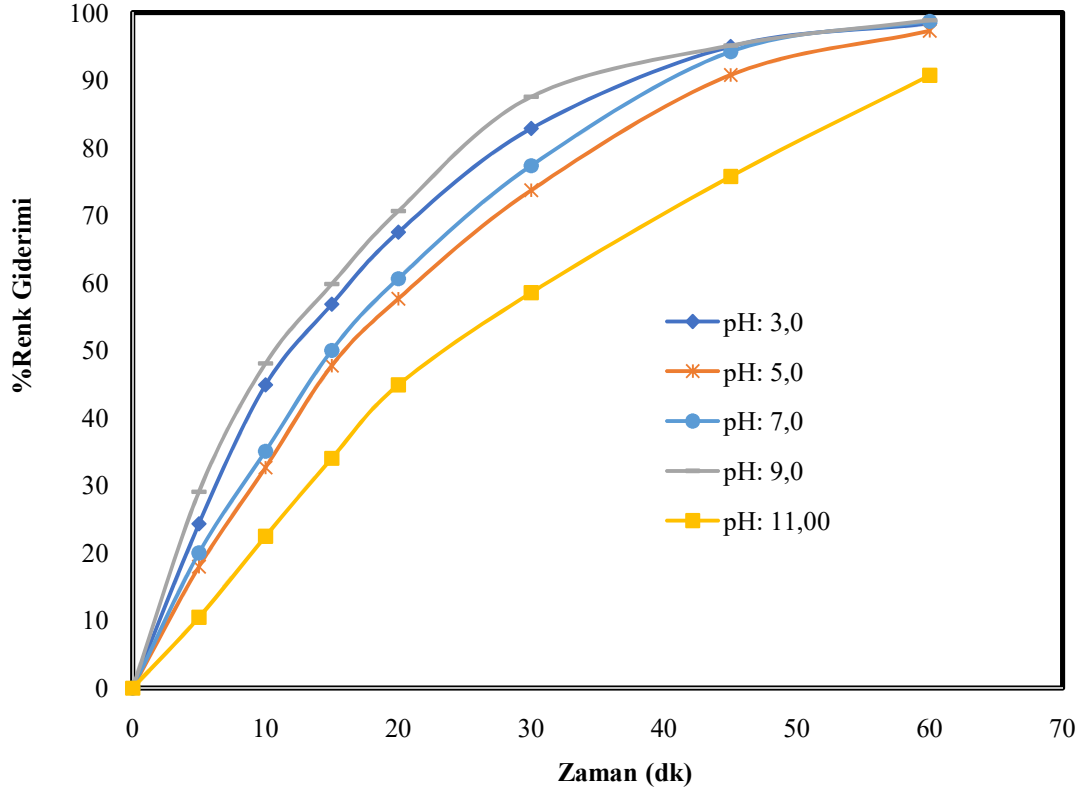


**Şekil 4.5:** Sıcaklık parametresinin zamana karşı renk giderimine etkisi

Şekil 4.5 incelendiğinde sıcaklığın artmasıyla renk giderim verimi artar. Bu çalışmada seçilen sıcaklık değerleri 10°C, 25°C, 40°C, 55°C olarak belirlenmiştir. Yapılan çalışmalarda 60. dakikada atıksuyun sıcaklığı 10°C de olduğu zaman renk giderim verimi %93,59 olarak saptanmıştır. Atıksu sıcaklığı 25°C olduğu zaman renk giderim verimi %98,72 olarak bulunmuştur. Atıksuyun sıcaklığı 40°C olduğu zaman renk giderim verimi %98,20 olarak elde edilmiştir. Atıksu sıcaklığı 55°C olduğu zaman renk giderim verimi %99,89 olarak hesaplanmıştır.

#### 4.1.6 pH'nın Renk Giderimine Etkisi

pH renk gideriminde etken faktörlerden biridir. pH ortam şartlarının oluşumunda önemli bir rol oynar. pH ortama  $H^+$  ve  $OH^-$  iyonları vererek iyon yükünü artırır. Ortamın asidik, bazik veya nötr olması gibi durumlarda arıtım farklı şekilde sonuçlanmıştır. Çalışılan atık suyun pH'sı incelenirken deney şartlarının standardizasyonu akım yoğunluğu 0,325 mA/cm<sup>2</sup> olarak sabit tutulmuş, karıştırma hızı 200 rpm olarak belirlenmiş, destek elektrolit konsantrasyonu 5 mM, destek elektrolit türü NaCl, boyar madde konsantrasyonu 250 mg/L ve ortam sıcaklığı 25°C olacak şekilde ayarlanmıştır.

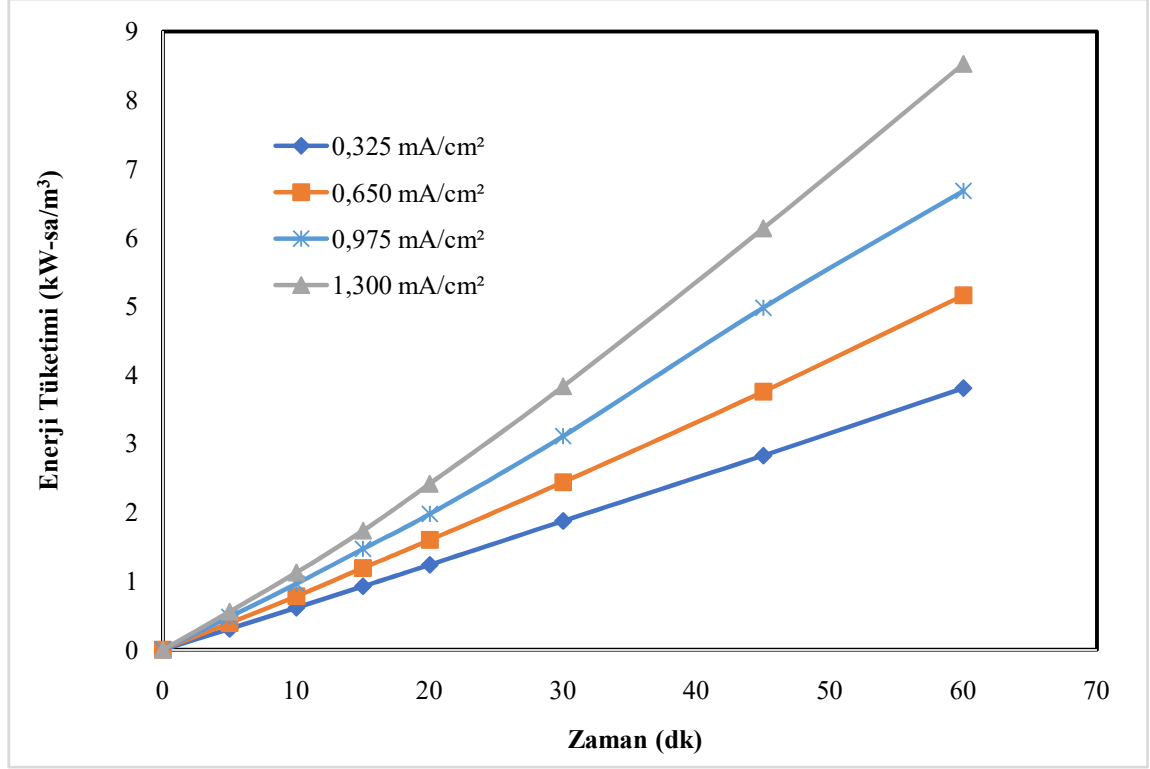


**Şekil 4.6:** pH'ın zamana karşı renk giderimine etkisi

Yapılan çalışmada pH=3 durumu incelendiğinde renk giderim verimi %98,40 olarak hesaplanmıştır. Atıksuyun pH=5 değerindeki renk giderim verimi %97,32 olarak hesaplanmıştır. Atıksudaki pH=7 değeri için renk giderim verimi %98,73 olarak hesaplanmıştır. Atıksu pH=9 değeri için yapılan incelemede renk giderim verimi %98,85 olarak hesaplanmıştır. Atıksu pH=11 değeri için yapılan çalışmada renk giderim verimi %90,69 olarak hesaplanmıştır.

#### 4.1.7 Akım Yoğunluğunun Enerji Tüketimine Etkisi

Akım yoğunluğu enerji tüketimine etki eden parametrelerden en önemlisidir. Enerji tüketimi akım yoğunluğu artıkça artar. Elektrotlardan geçen akım yoğunluğu miktarı artıkça enerji tüketimi de artmaktadır.

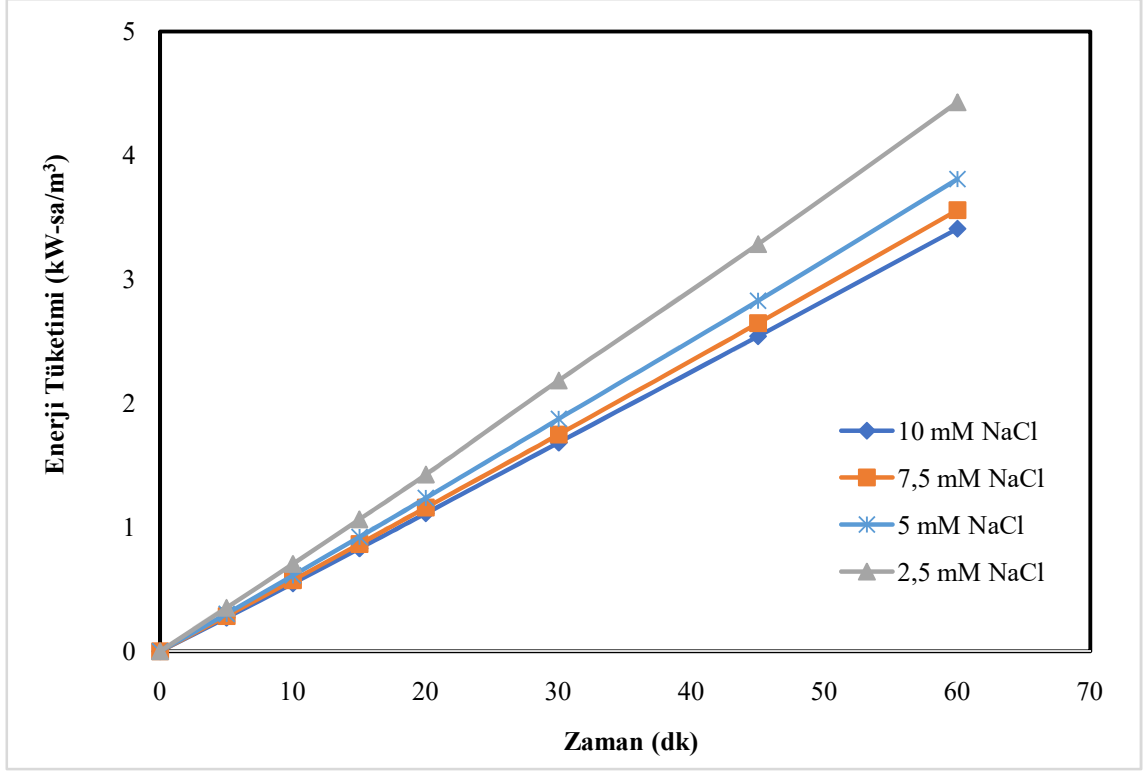


**Şekil 4.7:** Akım yoğunluğunun zamana karşı renk giderimine etkisi

Akım yoğunluğu artığı zaman dilimlerinde tüketilen enerji miktarları da artmaktadır. Akım yoğunluğuna etki eden en önemli faktör yüzey alanıdır. Birim yüzey alanından geçen akım miktarına göre arıtma giderimi artar ve enerji tüketimi de artar. Enerji tüketim miktarını etkileyen akım yoğunlukları  $0,325 \text{ mA/cm}^2$ ,  $0,650 \text{ mA/cm}^2$ ,  $0,975 \text{ mA/cm}^2$ ,  $1,300 \text{ mA/cm}^2$  olarak tercih edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda  $0,325 \text{ mA/cm}^2$  akım yoğunluğunda tüketilen enerji miktarı  $3,81 \text{ kW-sa/m}^3$  olarak hesaplanmıştır.  $0,650 \text{ mA/cm}^2$  akım yoğunluğunun olduğu zaman aralığında tüketilen enerji miktarı  $5,16 \text{ kW-sa/m}^3$  olarak belirlenmiştir.  $0,975 \text{ mA/cm}^2$  akım yoğunluğu verilen zaman diliminde tüketilen enerji miktarı  $6,68 \text{ kW-sa/m}^3$  olarak saptanmıştır.  $1,300 \text{ mA/cm}^2$  akım yoğunluğu belirlenen atıksuyun zamanla tükettiği enerji miktarı  $8,53 \text{ kW-sa/m}^3$  olarak tespit edilmiştir.

#### 4.1.8 Destek Elektrolit Konsantrasyonunun Enerji Tüketimine Etkisi

Destek elektrolit konsantrasyonu enerji tüketim miktarını etkileyen parametrelerden biridir. Destek elektrolit konsantrasyonu artıkça tüketilen enerji azalır. Destek elektrolit konsantrasyonu atıksuyun iletkenlik değerini etkilemektedir. Böylece tüketilen enerji miktarı azalmış olur.

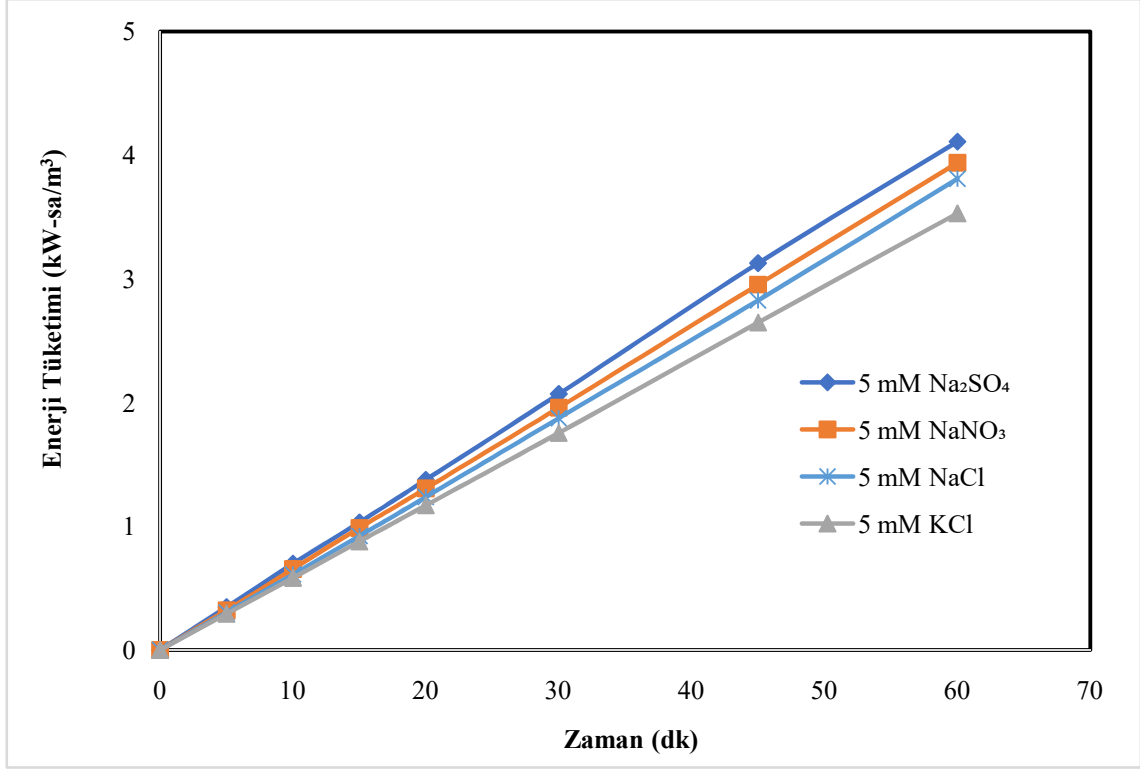


**Şekil 4.8:** Destek elektrolit konsantrasyonunun zamana karşı enerji tüketimine etkisi

Grafikte de belirtildiği gibi destek elektrolit konsantrasyonu artıkça tüketilen enerji miktarı da ona bağlı olarak azalmaktadır. Yapılan çalışmada destek elektrolit konsantrasyonları 2,5 mM NaCl, 5mM NaCl, 7,5 mM NaCl, 10 mM NaCl olarak seçilmiştir. Atıksuda belirlenen destek elektrolit konsantrasyonun 2,5 mM NaCl zamanla tükettiği enerji miktarı 4,43kW-sa/m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. Destek elektrolit konsantrasyonu 5 mM NaCl olan zamanla tükettiği enerji miktarı 3,81 kW-sa/m<sup>3</sup> olarak saptanmıştır. 7,5 mM NaCl destek elektrolit konsantrasyonuna sahip atıksuyun enerji tüketim miktarı 3,56 kW-sa/m<sup>3</sup> elde edilmiştir. 10 mM NaCl destek elektrolit konsantrasyonuna sahip atıksu enerji tüketim miktarı 3,41 kW-sa/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır.

#### 4.1.9 Destek Elektrolit Türünün Enerji Tüketimine Etkisi

Destek elektrolit türü enerji tüketim miktarını etkileyen diğer parametrelerden biridir. Destek elektrolit türü olarak KCl, NaCl, NaNO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> tercih edilmiştir. Destek elektrolit türü dolaylı oksidasyonu destekleyecek ara bileşiklerin oluşması durumunda renk gideriminin arttığı görülmüştür.

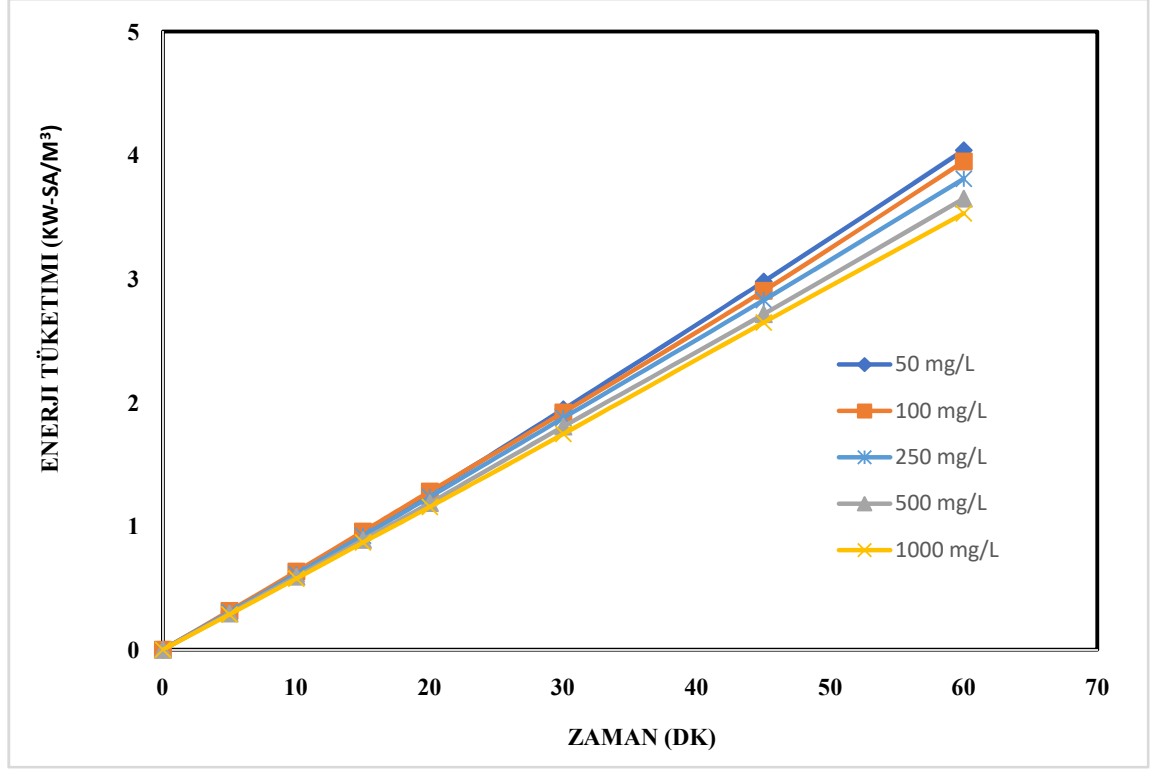


**Şekil 4.9:** Destek elektrolit türünün zamana karşı enerji tüketimine etkisi

Destek elektrolit türü olan KCl ve NaCl için Cl<sup>-</sup> miktarı arttıkça enerji tüketim miktarı azalmaktadır. Tüketilen enerji destek elektrot türü ile farklılık göstermektedir. Yapılan araştırmada destek elektrolit türü olarak 5 mM KCl seçilmiş ve zamanla tükettiği enerji miktarı 3,72 kW-sa/m<sup>3</sup> olarak tespit edilmiştir. Atıksuda belirlenen destek elektrolit türü 5 mM NaCl için zamanla tükettiği enerji miktarı 3,81kW-sa/m<sup>3</sup> olarak saptanmıştır. Atıksudaki destek elektrolit türü 5 mM NaNO<sub>3</sub> için tüketilen enerji miktarı 3,84 kW-sa/m<sup>3</sup> olarak gözlemlenmiştir. Destek elektrolit türü olan 5mM Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> zaman içerisinde tükettiği enerji miktarı 3,39 kW-sa/m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur.

#### 4.1.10 Boyar Madde Konsantrasyonunun Enerji Tüketimine Etkisi

Boyar madde konsantrasyonu enerji tüketiminde etkili bir rol oynar. Enerji tüketiminde boyar madde konsantrasyonu arttıkça tüketilen enerji miktarı da artar. Boyar madde konsantrasyonlarının incelenmesinde 50 mg/L, 100 mg/L, 250 mg/L, 500 mg/L ve 1000 mg/L değerleri seçilmiştir.



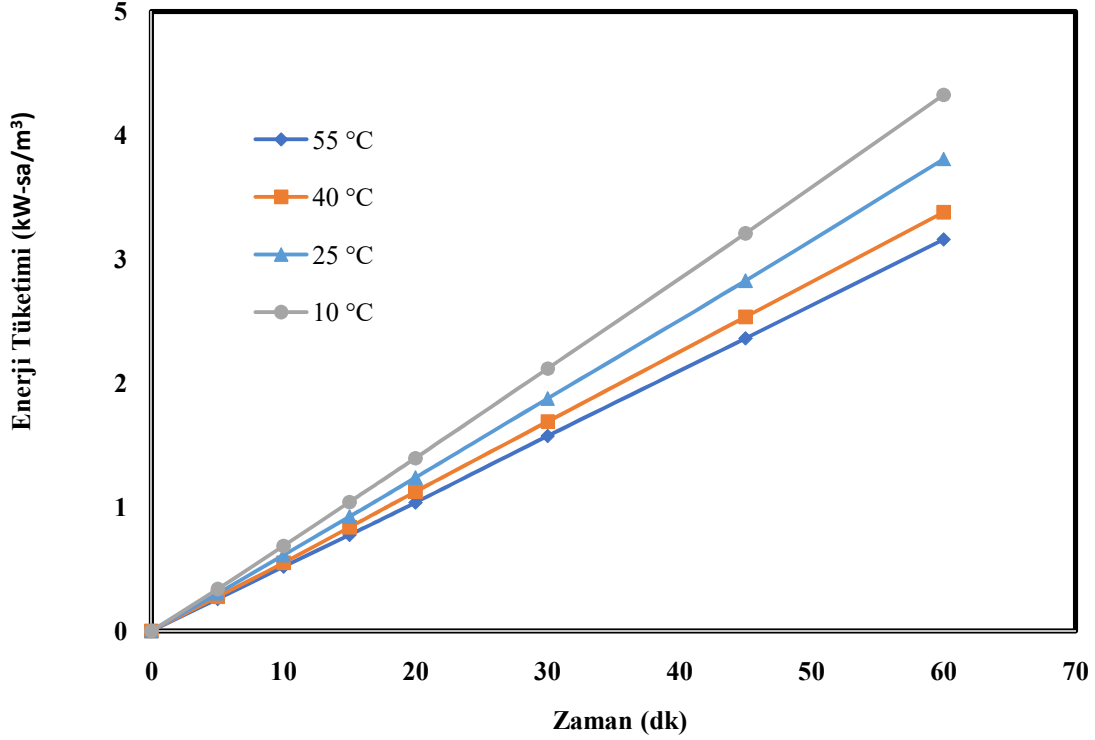
**Şekil 4.10:** Boyar madde konsantrasyonunun zamana karşı enerji tüketimine etkisi

Atıksudaki boyar madde konsantrasyonu 1000 mg/L olduğu zaman tükettiği enerji miktarı  $3,53 \text{ kW-sa/m}^3$  elde edilmiştir. Boyar madde konsantrasyonu 500 mg/L olduğu zaman diliminde ise enerji tüketim miktarı  $3,65 \text{ kW-sa/m}^3$  olarak tespit edilmiştir. Boyar madde konsantrasyonu 250 mg/L olduğu zaman aralığında enerji tüketim miktarı  $3,81 \text{ kW-sa/m}^3$  olarak saptanmıştır. Boyar madde konsantrasyonu 100 mg/L olarak incelendiğinde tüketilen enerji miktarı  $4,02 \text{ kW-sa/m}^3$  olarak bulunmuştur. Boyar madde konsantrasyonu 50 mg/L olarak değerlendirildiği zaman diliminde tüketilen enerji miktarı  $4,04 \text{ kW-sa/m}^3$  olarak hesaplanmıştır.

#### 4.1.11 Sıcaklığın Enerji Tüketimine Etkisi

Sıcaklık enerji tüketim miktarını etkileyen diğer faktörlerden biridir. Sıcaklık kimyasal reaksiyonlarda olduğu gibi atıksuda gerçekleşen reaksiyon hızını da etkileyen bir parametredir. Bu çalışmada seçilen sıcaklık değerleri  $10^\circ\text{C}$ ,  $25^\circ\text{C}$ ,  $40^\circ\text{C}$ ,  $55^\circ\text{C}$  olarak belirlenmiştir.



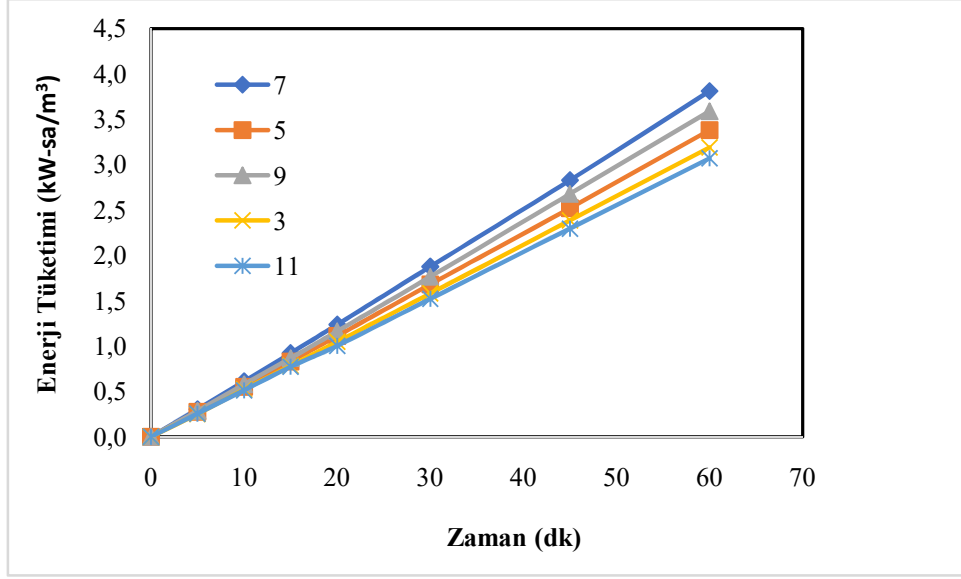


**Şekil 4.11:**Sıcaklığın zamana karşı enerji tüketimine etkisi

Grafikte gösterildiği gibi sıcaklık arttıkça tüketilen enerji miktarı azalmaktadır. Sıcaklık değerleri arttıkça reaksiyon hızı artar. Giderimin fazla olduğu sıcaklık değerinde tüketilen enerji miktarı daha azdır. Yapılan çalışmada da araştırıldığı üzere sıcaklık değeri 55°C olduğu zaman aralığında enerji tüketim miktarı 3,16 kW-sa/m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. Atıksuyun sıcaklık değeri 40°C olduğu zaman diliminde tükettiği enerji miktarı 3,38 kW-sa/m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. Atıksu sıcaklık değeri 25°C olarak incelendiği zamanda enerji tüketim miktarı 3,81 kW-sa/m<sup>3</sup> olarak tespit edilmiştir. Atıksu sıcaklık değeri 10°C olarak değerlendirildiği zaman skalasında enerji tüketim miktarı 4,33 kW-sa/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır.

#### 4.1.12 pH'ın Enerji Tüketimine Etkisi

pH enerji tüketim miktarında etkili rol oynayan parametrelerden birisidir. Ortamın asidik, bazik veya nötr olması gibi durumlarda arıtım farklı şekilde sonuçlanır.



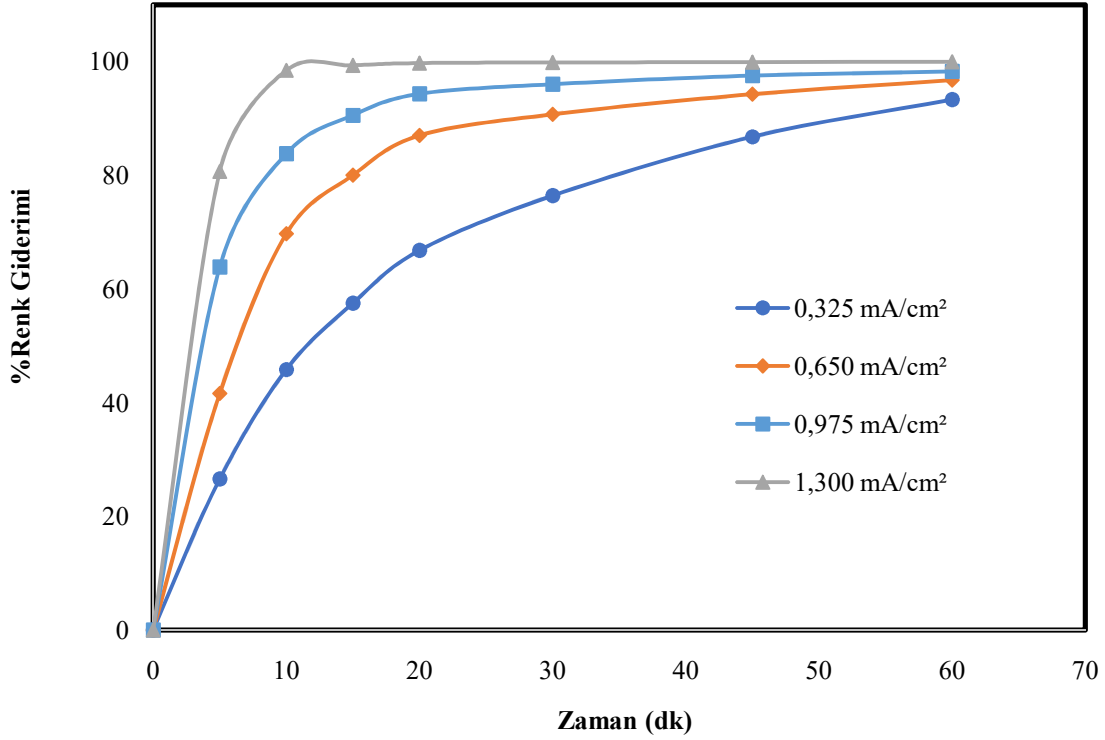
**Şekil 4.12:** pH'in zamana karşı enerji tüketimine etkisi

Grafikten de incelendiği üzere pH değeri nötr olduğunda enerji tüketiminin en fazla olduğu gözlemlenmiştir. Atıksudaki pH=11 değerinin belirli zaman aralıklarında tükettiği enerji miktarı  $3,39 \text{ kW-sa/m}^3$  olarak tespit edilmiştir. pH=9 değerinin istenilen zaman aralığındaki enerji tüketim miktarı  $3,69 \text{ kW-sa/m}^3$  olarak elde edilmiştir. Atıksu pH=7 değerinin incelendiği zaman diliminde tüketilen enerji miktarı  $3,81 \text{ kW-sa/m}^3$  olarak belirlenmiştir. Atıksuyun pH=5 değeri incelendiği zaman enerji tüketim miktarı  $3,38 \text{ kW-sa/m}^3$  olarak hesaplanmıştır. Atıksuyun pH=3 değeri araştırıldığında ise enerji tüketim miktarı  $3,19 \text{ kW-sa/m}^3$  olarak belirlenmiştir.

## 4.2 DRİMARİNE ORANGE

### 4.2.1 Akım Yoğunluğunun Renk Giderimine Etkisi

Bütün elektrokimyasal süreçlerde akım yoğunluğu tepkime hızını etkileyen en mühim değerdir. Akım yoğunluğu elektroosidasyon proseslerinde proses süresini azaltmaktadır. Boyar maddenin elektroosidasyon metodu ile akım yoğunluğuna olan etkisi bu çalışmada incelenmiştir. Deney şartları boyar maddenin başlangıç konsantrasyonu  $250 \text{ mg/L}$ , sıcaklığı  $25^\circ\text{C}$ , pH'ı doğal aralıklarda tutulmuş, karıştırma hızı  $200 \text{ rpm}$  ve destek elektrolit konsantrasyonu  $5 \text{ mM}$  olarak belirlenmiş, destek elektrolit türü olarak NaCl seçilmiştir.

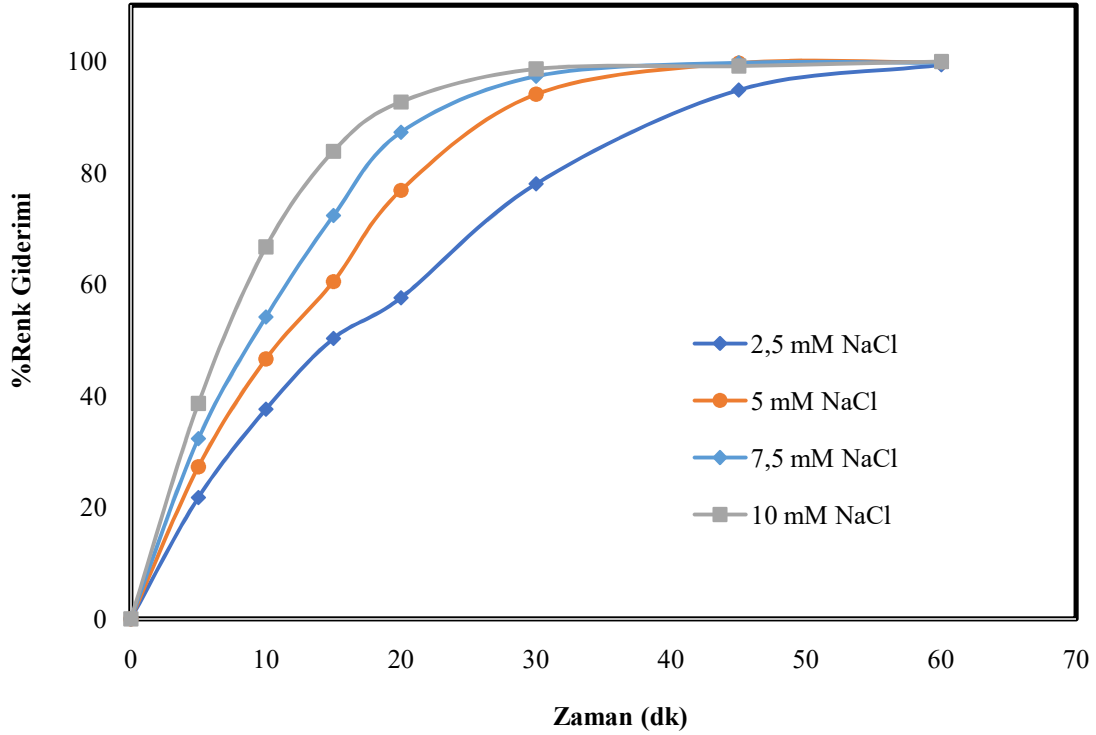


**Şekil 4.13:** Akım yoğunluğunun zamana karşı renk giderimine etkisi

Yapılan çalışmada akım yoğunluğu arttıkça giderim verimi de artmaktadır. Sistemden geçen akımın değeri artırıldıkça arıtma zamanı azalır. Yapılan çalışmada farklı akım yoğunlukları ( $0,325 \text{ mA/cm}^2$ ,  $0,650 \text{ mA/cm}^2$ ,  $0,975 \text{ mA/cm}^2$ ,  $1,300 \text{ mA/cm}^2$ ) kullanılarak hangi dakikada ne kadar giderim yapıldığı tespit edilmiştir.  $0,325 \text{ mA/cm}^2$  akım yoğunluğunda renk giderim verimi %93,35 olarak saptanmıştır.  $0,650 \text{ mA/cm}^2$  akım yoğunluğunda renk giderim verimi %96,76 giderim elde edilmiştir.  $0,975 \text{ mA/cm}^2$  akım yoğunluğunda renk giderim verimi %98,30 olarak belirlenmiştir.  $1,300 \text{ mA/cm}^2$  akım yoğunluğunda renk giderim verimi %99,97 şeklinde hesaplanmıştır.

#### 4.2.2 Destek Elektrolit Konsantrasyonunun Renk Giderimine Etkisi

Destek elektrolit konsantrasyonu atıksudaki iletkenlik parametresini doğrudan etkiler. Destek elektrolit konsantrasyonu elektrooksidasyon yöntemiyle boyar maddenin arıtılmasındaki etkisi bu çalışmaya göre incelenmiştir. Kullanılan çalışmanın deney şartları boyar maddenin başlangıç konsantrasyonu  $250 \text{ mg/L}$ , sıcaklığı  $25^\circ\text{C}$ , pH'ı doğal aralıklarda tutulmuş, akım yoğunluğu  $0,325 \text{ mA/cm}^2$  olarak sabit tutulmuş, karıştırma hızı  $200 \text{ rpm}$  olarak belirlenmiş, destek elektrolit türü olarak NaCl seçilmiştir. Bu deney koşullarında  $2,5 \text{ mM NaCl}$ ,  $5 \text{ mM NaCl}$ ,  $7,5 \text{ mM NaCl}$ ,  $10 \text{ mM NaCl}$  destek elektrolit konsantrasyonlarında renk giderim verimleri incelenmiştir.

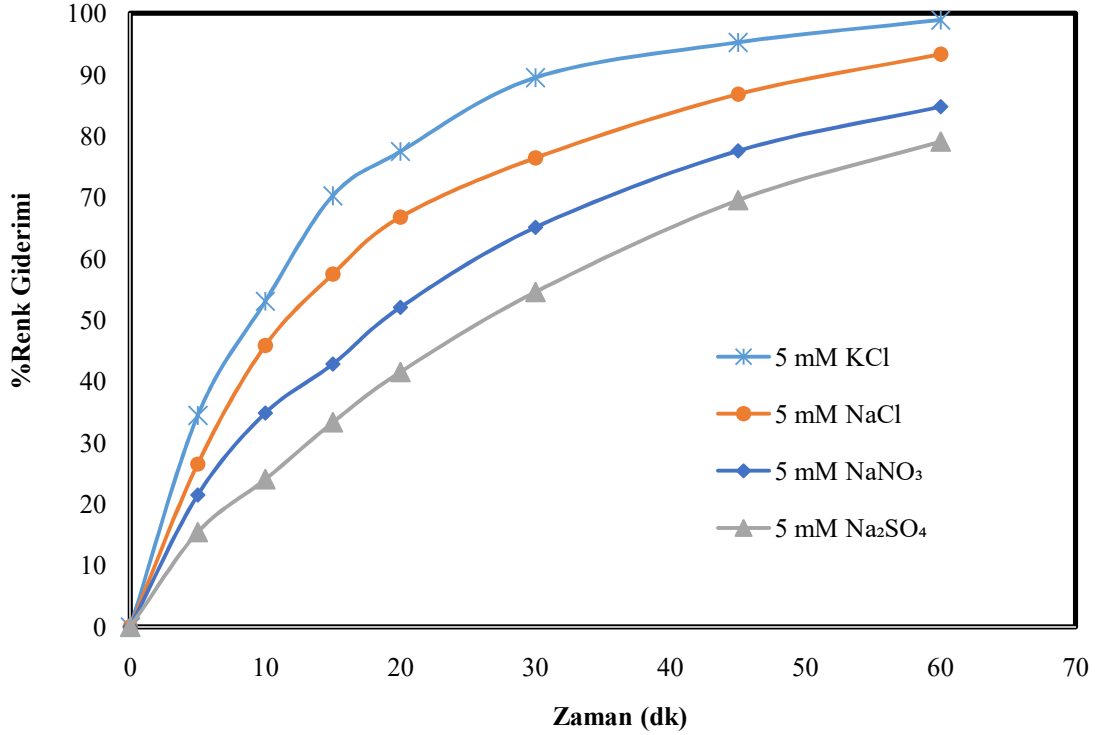


**Şekil 4.14:** Destek elektrolit konsantrasyonunun zamana karşı renk giderimine etkisi

Grafikte belirtildiği gibi destek elektrolit konsantrasyonundaki artış renk giderim verimini de artırmıştır. Zaman içinde destek elektrolit konsantrasyonunun da etkisiyle renk giderim veriminin arttığı gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmada 30. dakikada; 2,5 mM NaCl destek elektrolit konsantrasyonunun renk giderim verimi %78,00 olarak gözlemlenmiştir. 5 mM NaCl destek elektrolit konsantrasyonunda renk giderim verimi %94,04 olarak hesaplanmıştır. 7,5 mM NaCl destek elektrolit konsantrasyonunda renk giderim verimi %97,27 olarak saptanmıştır. 10 mM NaCl destek elektrolit konsantrasyonun da renk giderim verimi %98,59 olarak bulunmuştur.

#### 4.2.3 Destek Elektrolit Türünün Renk Giderimine Etkisi

Destek elektrolit türü dolaylı oksidasyonu destekleyecek ara bileşiklerin oluşması durumunda renk gideriminin arttığı görülmüştür. Yapılan çalışmada destek elektrolit türlerindeki değişimle zaman içerisindeki renk giderimi incelenmiştir. Deney şartları boyar maddenin başlangıç konsantrasyonu 250 mg/L, sıcaklığı 25°C, pH'ı doğal aralıklarda tutulmuş, akım yoğunluğu 0,325 mA/cm<sup>2</sup> olarak sabit tutulmuş, karıştırma hızı 200 rpm olarak belirlenmiş, destek elektrolit konsantrasyonu 5 mM olacak şekilde ayarlanmıştır.

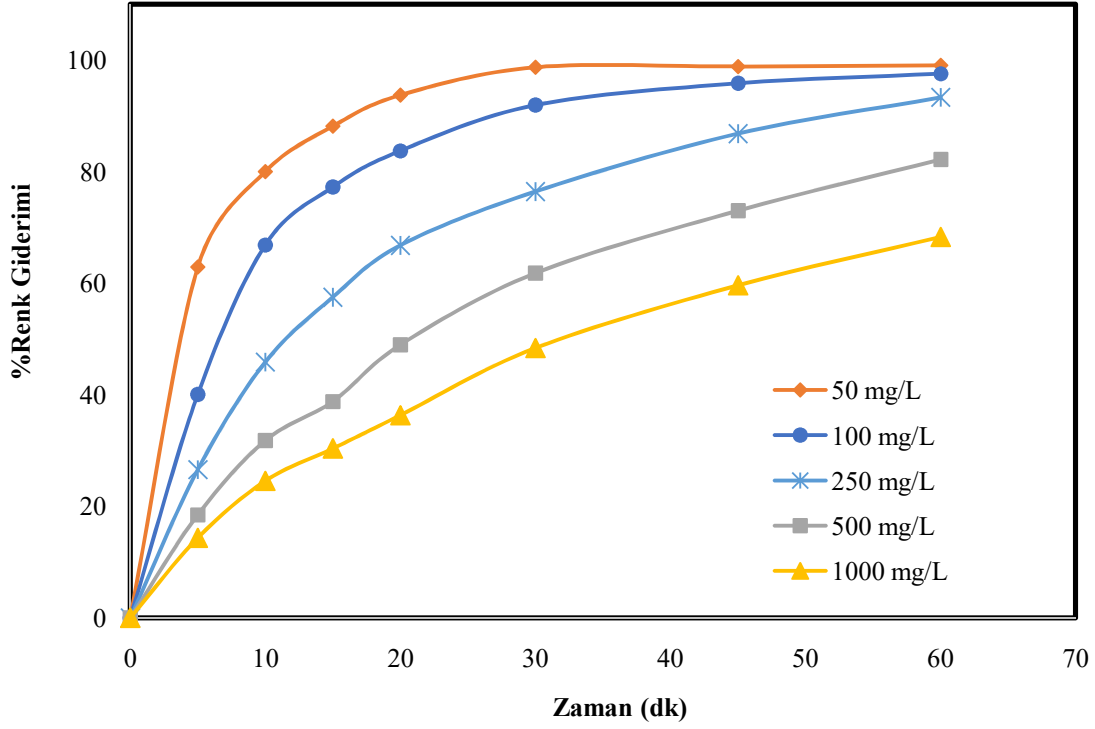


**Şekil 4.15:** Destek elektrolit türünün zamana karşı renk giderimine etkisi

Destek elektrolit türü olarak 5 mM KCl, 5 mM NaCl, 5 mM NaNO<sub>3</sub>, 5 mM Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> seçilmiştir. Destek elektrolitteki Cl<sup>-</sup> iyonlarının fazla oluşu giderim verimini artırmaktadır. Yapılan çalışmada 5 mM KCl kullanıldığında renk giderim verimi %98,91 olarak hesaplanmıştır. 5 mM NaCl kullanıldığında renk giderim verimi %93,35 olarak hesaplanmıştır. 5 mM NaNO<sub>3</sub> kullanıldığında renk giderim verimi %84,79 olarak hesaplanmıştır. 5 mM Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> kullanıldığında renk giderim verimi %79,12 olarak hesaplanmıştır.

#### 4.2.4 Boyar Madde Konsantrasyonunun Renk Giderimine Etkisi

Yapılan çalışmada deney süresi içerisindeki gözlemlerde atıksudaki boyar madde konsantrasyonu ile renk giderim verimi arasında ters bağıntı olduğunu göstermiştir. Atıksudaki boyar madde konsantrasyonu arttıkça renk giderim verimi azalmaktadır. Kullanılan boyanın konsantrasyonu incelenirken deney şartlarının standardizasyonu sıcaklığı 25°C, pH'ı doğal aralıklarda tutulmuş, akım yoğunluğu 0,325 mA/cm<sup>2</sup> olarak sabit tutulmuş, karıştırma hızı 200 rpm olarak belirlenmiş, destek elektrolit konsantrasyonu 5 mM ve destek elektrolit türü NaCl olacak şekilde ayarlanmıştır.

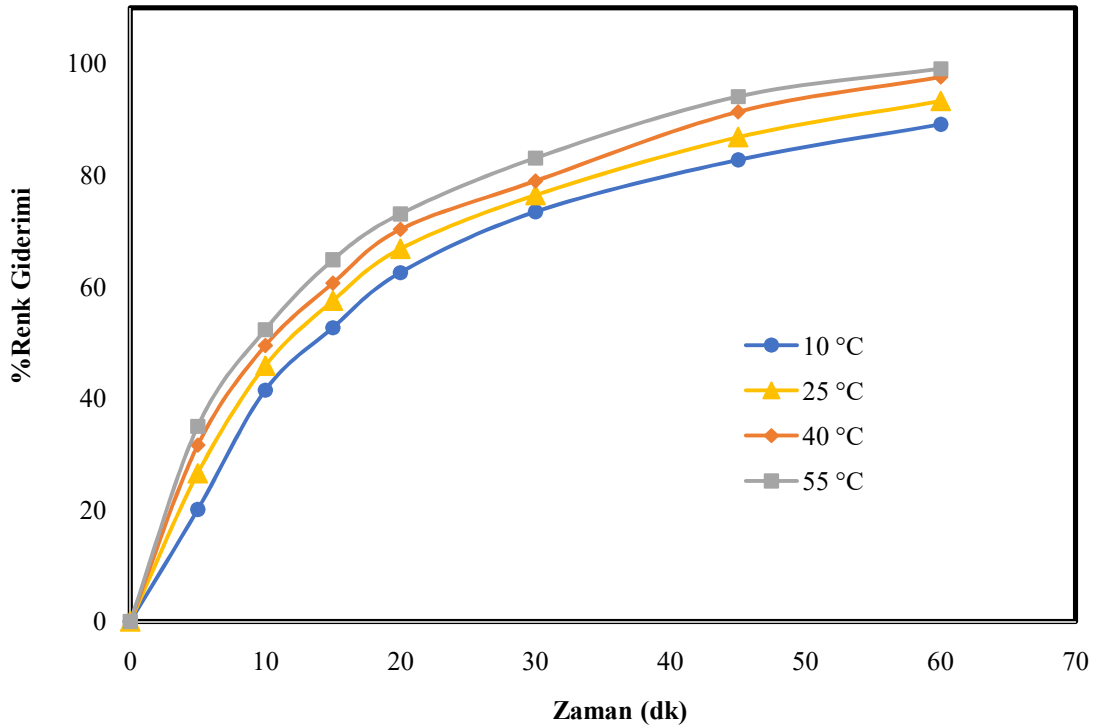


**Şekil 4.16:** Zaman içerisindeki renk giderim verimini etkileyen boyar madde konsantrasyon grafiği

Boyar madde konsantrasyonu 50 mg/L, 100 mg/L, 250 mg/L, 500 mg/L, 1000 mg/L seçilerek incelenmiştir. Grafikten elde edilen bilgiler doğrultusunda zaman içerisinde konsantrasyonu fazla olanın renk giderim verimi en azdır. Konsantrasyon renk giderimi etkileyen parametrelerden biridir. Yapılan çalışmaya istinaden 50 mg/L konsantrasyonda renk giderim verimi %99,10 olarak tespit edilmiştir. 100 mg/L boyar madde konsantrasyonunda renk giderim verimi %97,59 şeklinde bulunmuştur. 250 mg/L boyar madde konsantrasyonuna sahip olduğunda renk giderim verimi %93,35 olarak belirlenmiştir. 500 mg/L boyar madde konsantrasyonunda gözlemlenen renk giderim verimi %82,20 olarak bulunmuştur. 1000 mg/L boyar madde konsantrasyonu içerdiğinde ise renk giderim verimi %68,33 olarak hesaplanmıştır.

#### 4.2.5 Sıcaklığın Renk Giderimine Etkisi

Genellikle, sıcaklıktaki artış prosesin etkinliğini artırmaktadır. (Morsi et al. 2011; Ghalwa et al. 2013) Bu nedenle atıksuyun ayrışması ve ortamda aktif oksijen ve ara ajanların oluşması sıcaklığın artışıyla artmaktadır (Fil 2014). Sıcaklık artışı ile atıksuyun viskozitesi düşecektir böylece kirleticilerin anot yüzeyine difüze olmaları kolaylaşacak ve direk elektrookside olma ihtimalleri artacaktır. Ayrıca sıcaklık artışının çoğu kimyasal reaksiyonlarının hızını artırdığı bilinmektedir. Bu nedenle sıcaklık artışıyla birlikte  $OCl^-$  (hipoklorit) ve  $HOCl$  (hipokloröz asit)'nin oluşma potansiyellerinin artması muhtemeldir. Bu iki ara ajanın artışı ile dolaylı elektrooksidasyonun da artış göstermesi beklenir. Sıcaklık renk gideriminin de etken bir parametredir. Sıcaklık diğer parametreler ile de bağlantılıdır. Atıksuyun sıcaklığı artırıldıkça, arıtma zamanı azalır. Kullanılan atıksuyun sıcaklığı incelenirken deney şartlarının standardizasyonu pH'ı doğal aralıklarda tutulmuş, akım yoğunluğu  $0,325 \text{ mA/cm}^2$  olarak sabit tutulmuş, karıştırma hızı 200 rpm olarak belirlenmiş, destek elektrolit konsantrasyonu 5 mM, destek elektrolit türü NaCl ve boyar madde konsantrasyonu 250 mg/L olacak şekilde ayarlanmıştır.

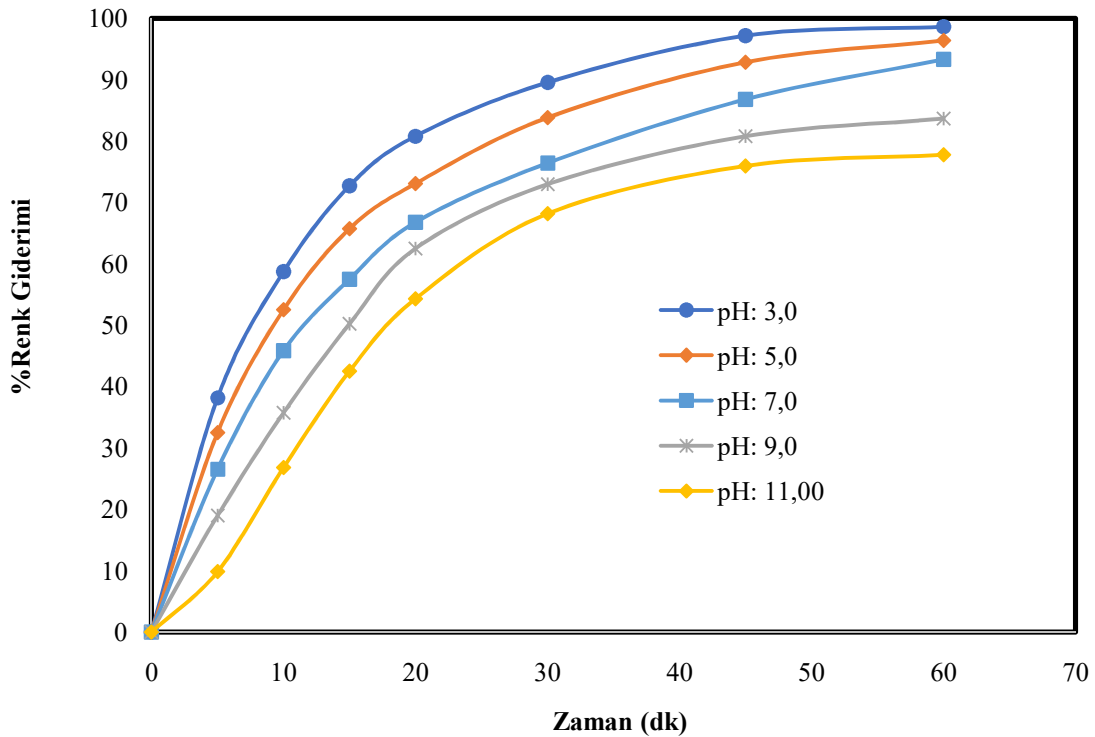


Şekil 4.17: Sıcaklık parametresinin zamana karşı renk giderimine etkisi

Grafikte de anlatılmak istenildiği gibi sıcaklığın artmasıyla renk giderim verimi artar. Bu çalışmada seçilen sıcaklık değerleri 10°C, 25°C, 40°C, 55°C olarak belirlenmiştir. Yapılan çalışmalarda incelendiği gibi atıksuyun sıcaklığı 10°C olduğu zaman renk giderim verimi %89,12 olarak elde edilmiştir. Atıksuyun sıcaklığı 25°C de olduğu zaman renk giderim verimi %93,34 olarak saptanmıştır.. Atıksu sıcaklığı 40°C olduğu zaman renk giderim verimi %97,61 olarak bulunmuştur. Atıksu sıcaklığı 55°C olduğu zaman renk giderim verimi %99,13 olarak hesaplanmıştır.

#### 4.2.6 pH'ın Renk Giderimine Etkisi

pH renk gideriminde etken faktörlerden biridir. pH ortam şartlarının oluşumunda önemli bir rol oynar. Ortamın asidik, bazik veya nötr olması gibi durumlarda arıtım farklı şekilde sonuçlanır. Çalışılan atık suyun pH'sı incelenirken deney şartlarının standardizasyonu akım yoğunluğu 0,325 mA/cm<sup>2</sup> olarak sabit tutulmuş, karıştırma hızı 200 rpm olarak belirlenmiş, destek elektrolit konsantrasyonu 5 mM, destek elektrolit türü NaCl, boyar madde konsantrasyonu 250 mg/L ve ortam sıcaklığı 25°C olacak şekilde ayarlanmıştır.



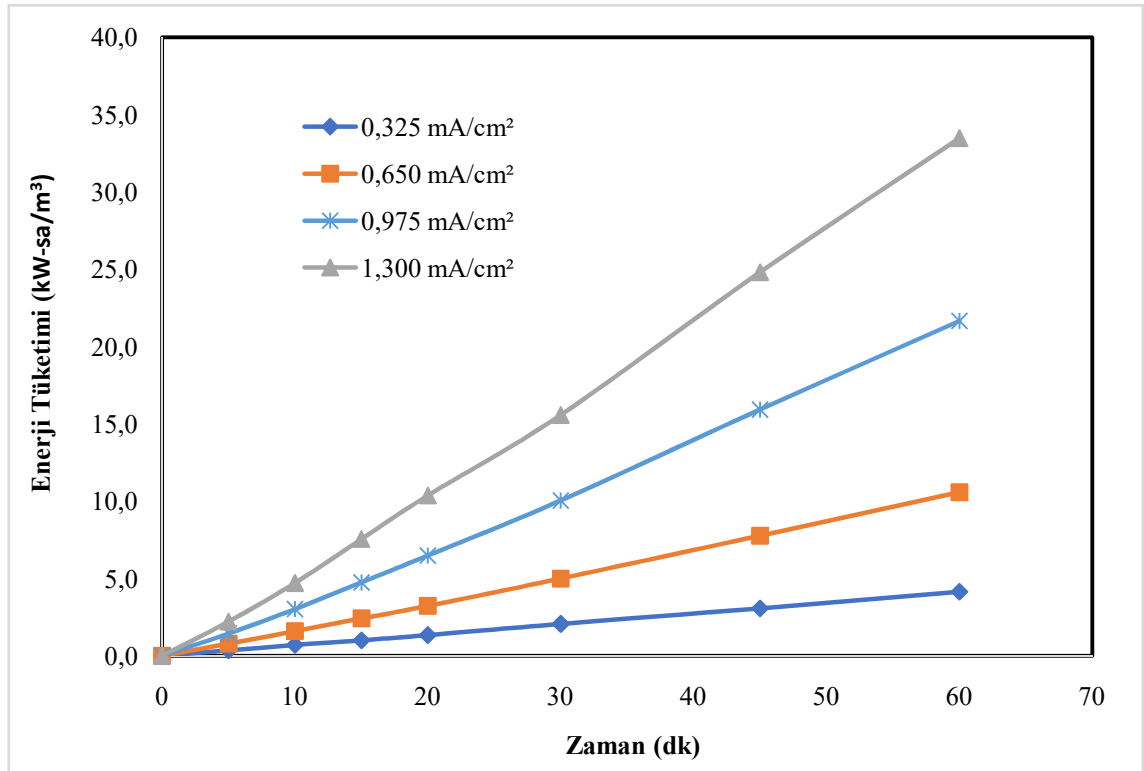
Şekil 4.18: Zaman içerisindeki renk giderim verimini etkileyen pH grafiği



Yapılan çalışmada pH=3 durumu incelendiğinde renk giderim verimi %98,65 olarak hesaplanmıştır. Atıksuyun pH=5 değerindeki renk giderim verimi %96,43 olarak hesaplanmıştır. Atıksudaki pH=7 değeri için renk giderim verimi %93,35 olarak hesaplanmıştır. Atıksu pH=9 değeri için yapılan incelemede renk giderim verimi %83,70 olarak hesaplanmıştır. Atıksu pH=11 değeri için yapılan çalışmada renk giderim verimi %77,78 olarak hesaplanmıştır.

#### 4.2.7 Akım Yoğunluğunun Enerji Tüketimine Etkisi

Akım yoğunluğu enerji tüketimine etki eden parametrelerden en önemlisidir. Enerji tüketimi akım yoğunluğu arttıkça artar. Elektrotlardan geçen akım yoğunluğu miktarı arttıkça tüketilen elektrik miktarı artacağı için enerji tüketimi de artmaktadır.



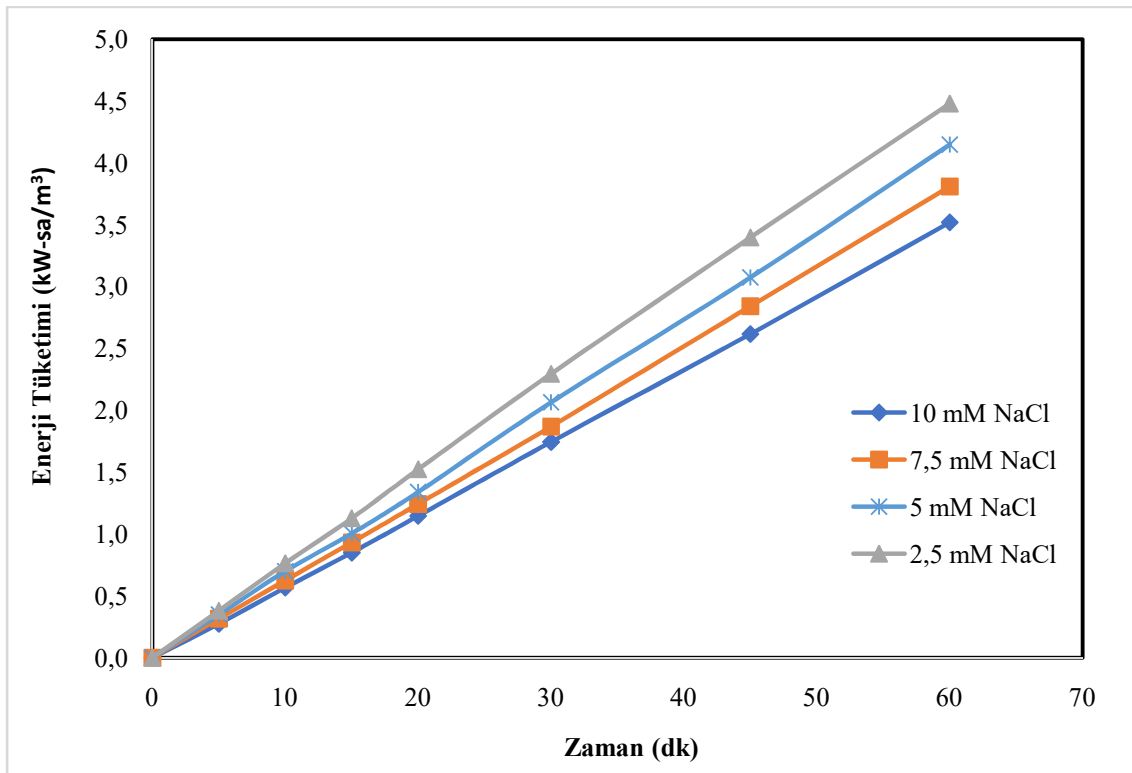
**Şekil 4.19:** Zaman içerisindeki enerji tüketim miktarını etkileyen akım yoğunluğu grafiği

Akım yoğunluğu arttıkça zaman dilimlerinde tüketilen enerji miktarları da artmaktadır. Birim yüzey alanından geçen akım miktarı arttıkça arıtma giderimi artar ve enerji tüketimi de artar. Enerji tüketim miktarını etkileyen akım yoğunlukları 0,325 mA/cm<sup>2</sup>, 0,650 mA/cm<sup>2</sup>, 0,975 mA/cm<sup>2</sup>, 1,300 mA/cm<sup>2</sup> olarak tercih edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda 0,325 mA/cm<sup>2</sup> akım yoğunluğunda tüketilen enerji miktarı 4,15 kW-sa/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır. 0,650 mA/cm<sup>2</sup> akım yoğunluğunun olduğu zaman aralığında tüketilen enerji miktarı

10,58 kW-sa/m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. 0,975 mA/cm<sup>2</sup> akım yoğunluğu verilen zaman diliminde tüketilen enerji miktarı 21,66 kW-sa/m<sup>3</sup> olarak saptanmıştır. 1,300 mA/cm<sup>2</sup> akım yoğunlu belirlenen atıksuyun zamanla tükettiği enerji miktarı 33,48 kW-sa/m<sup>3</sup> olarak tespit edilmiştir.

#### 4.2.8 Destek Elektrolit Konsantrasyonun Enerji Tüketimine Etkisi

Destek elektrolit konsantrasyonu enerji tüketim miktarını etkileyen parametrelerden biridir. Destek elektrolit konsantrasyonu artıka tüketilen enerji azalır. Destek elektrolit konsantrasyonu atıksuyun iletkenlik değeri etkilemektedir. Böylece tüketilen enerji miktarı azalmış olur.



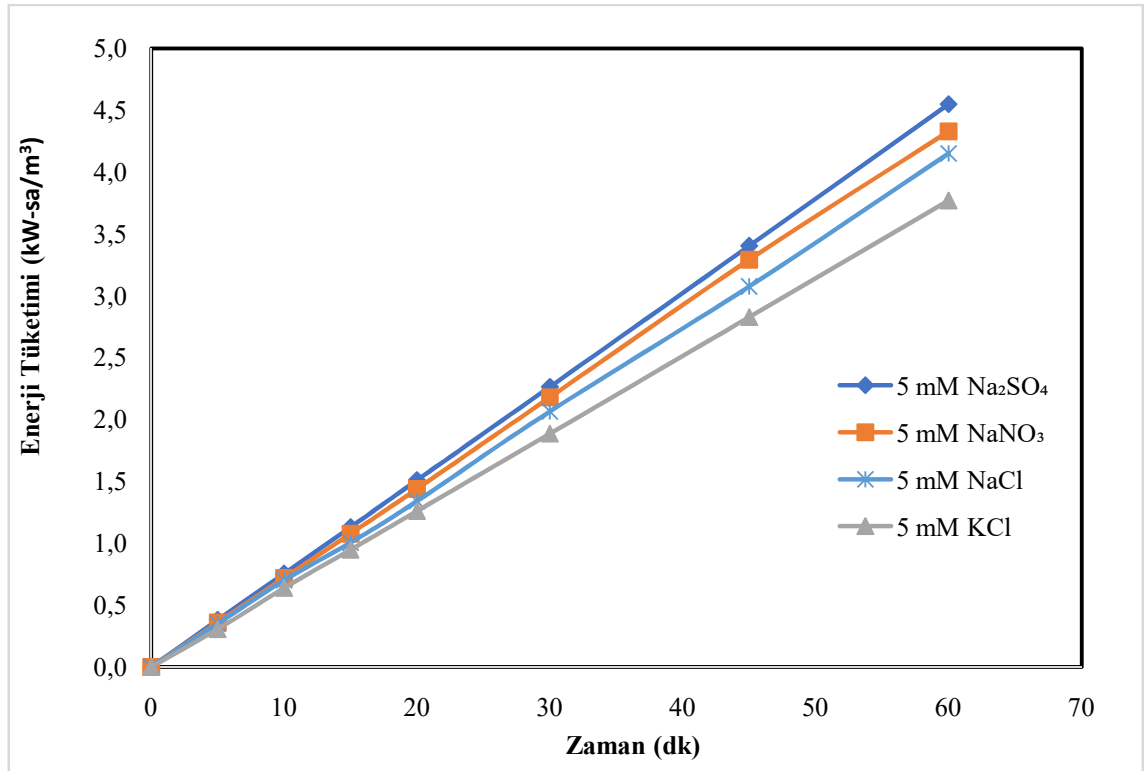
Şekil 4.20: Zaman içerisindeki enerji tüketim miktarını etkileyen destek elektrolit konsantrasyon grafiği

Grafikte de belirtildiği gibi destek elektrolit konsantrasyonu artıka tüketilen enerji miktarı da ona bağlı olarak azalmaktadır. Yapılan çalışmada destek elektrolit konsantrasyonları 2,5 mM NaCl, 5mM NaCl, 7,5 mM NaCl, 10 mM NaCl olarak seçilmiştir. Atıksuda belirlenen destek elektrolit konsantrasyonun 2,5 mM NaCl zamanla tükettiği enerji miktarı 4,48 kW-sa/m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. Destek elektrolit konsantrasyonu 5 mM NaCl olan zamanla tükettiği enerji miktarı 4,15 kW-sa/m<sup>3</sup> olarak saptanmıştır. 7,5 mM NaCl destek elektrolit

konsantrasyonuna sahip atıksuyun enerji tüketim miktarı  $3,81 \text{ kW-sa/m}^3$  elde edilmiştir.  $10 \text{ mM NaCl}$  destek elektrolit konsantrasyonuna sahip atıksu enerji tüketim miktarı  $3,52 \text{ kW-sa/m}^3$  olarak hesaplanmıştır.

#### 4.2.9 Destek Elektrolit Türünün Enerji Tüketimine Etkisi

Destek elektrolit türü enerji tüketim miktarını etkileyen diğer parametrelerden biridir. Destek elektrolit türünün giderime etkisiyle tükettiği enerji miktarı ters orantılıdır. Destek elektrolit türü dolaylı oksidasyonu destekleyecek ara bileşiklerin oluşması durumunda renk gideriminin arttığı görülmüştür. Destek elektrolit türü olarak  $\text{KCl}$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  tercih edilmiştir.



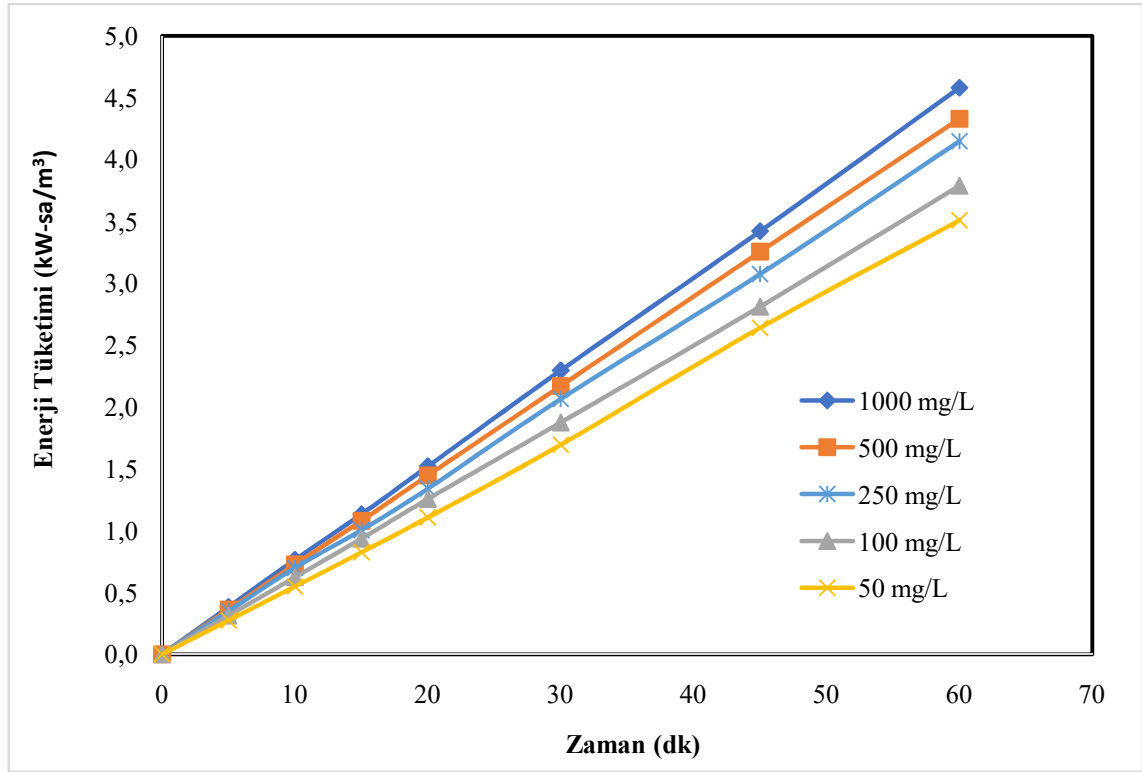
Şekil 4.21: Zaman içerisindeki enerji tüketim miktarını etkileyen destek elektrolit türü grafiği

Çizilen grafikte de gösterildiği üzere destek elektrolit türü olan  $\text{KCl}$  ve  $\text{NaCl}$  tuzları için  $\text{Cl}^-$  miktarı arttıkça enerji tüketim miktarı azalmaktadır. Tüketilen enerji destek elektrot türü ile farklılık göstermektedir. Yapılan araştırmada destek elektrolit türü olarak  $5 \text{ mM KCl}$  seçilmiş ve zamanla tükettiği enerji miktarı  $3,77 \text{ kW-sa/m}^3$  olarak tespit edilmiştir. Atıksuda belirlenen destek elektrolit türü  $5 \text{ mM NaCl}$  için zamanla tükettiği enerji miktarı  $4,15 \text{ kW-sa/m}^3$  olarak saptanmıştır. Atıksudaki mevcut destek elektrolit türü  $5 \text{ mM NaNO}_3$

için tüketilen enerji miktarı  $4,33 \text{ kW-sa/m}^3$  olarak gözlemlenmiştir. Destek elektrolit türü olan  $5 \text{ mM Na}_2\text{SO}_4$  zaman içerisinde tükettiği enerji miktarı  $4,55 \text{ kW-sa/m}^3$  olarak bulunmuştur.

#### 4.2.10 Boyar Madde Konsantrasyonunun Enerji Tüketimine Etkisi

Boyar madde konsantrasyonu enerji tüketiminde etkili bir rol oynar. Enerji tüketiminde boyar madde konsantrasyonu arttıkça tüketilen enerji miktarı da artar. Boyar madde konsantrasyonlarının incelenmesinde  $50 \text{ mg/L}$ ,  $100 \text{ mg/L}$ ,  $250 \text{ mg/L}$ ,  $500 \text{ mg/L}$  ve  $1000 \text{ mg/L}$  değerleri seçilmiştir.



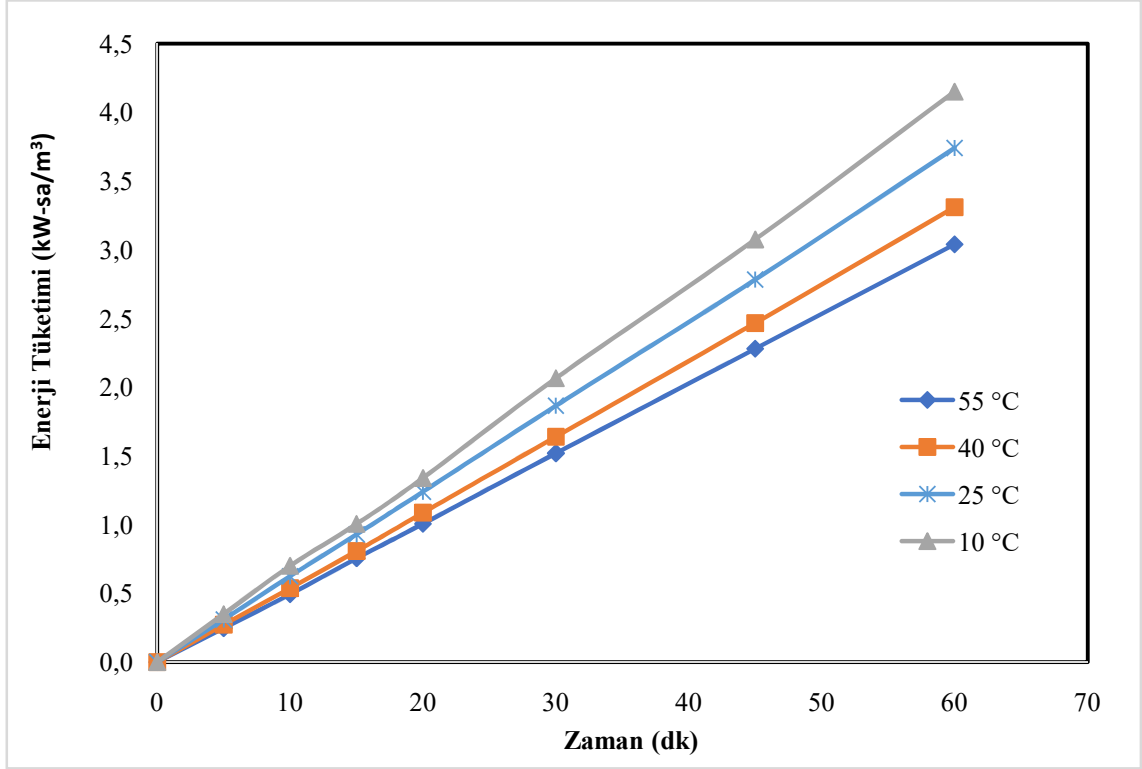
Şekil 4.22: Zaman içerisindeki enerji tüketim miktarını etkileyen boyar madde konsantrasyon grafiği

Grafikte belirtildiği üzere boyar madde konsantrasyonu arttıkça zaman enerji tüketiminin de arttığı gözlemlenmiştir. Atıksudaki boyar madde konsantrasyonu  $1000 \text{ mg/L}$  olduğu zaman tükettiği enerji miktarı  $3,51 \text{ kW-sa/m}^3$  elde edilmiştir. Boyar madde konsantrasyonu  $500 \text{ mg/L}$  olduğu zaman diliminde ise enerji tüketim miktarı  $3,79 \text{ kW-sa/m}^3$  olarak tespit edilmiştir. Boyar madde konsantrasyonu  $250 \text{ mg/L}$  olduğu zaman aralığında enerji tüketim miktarı  $4,15 \text{ kW-sa/m}^3$  olarak saptanmıştır. Boyar madde konsantrasyonu  $100 \text{ mg/L}$  olarak incelendiğinde tüketilen enerji miktarı  $4,33 \text{ kW-sa/m}^3$  olarak bulunmuştur. Boyar madde

konsantrasyonu 50 mg/L olarak değerlendirildiği zaman diliminde tüketilen enerji miktarı 4,58 kW-sa/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır.

#### 4.2.11 Sıcaklığın Enerji Tüketimine Etkisi

Sıcaklık enerji tüketim miktarını etkileyen diğer faktörlerden biridir. Sıcaklık atıksuda gerçekleşen reaksiyon hızını etkileyen bir parametredir. Reaksiyon hızının artmasıyla moleküller daha kolay ayrışır.

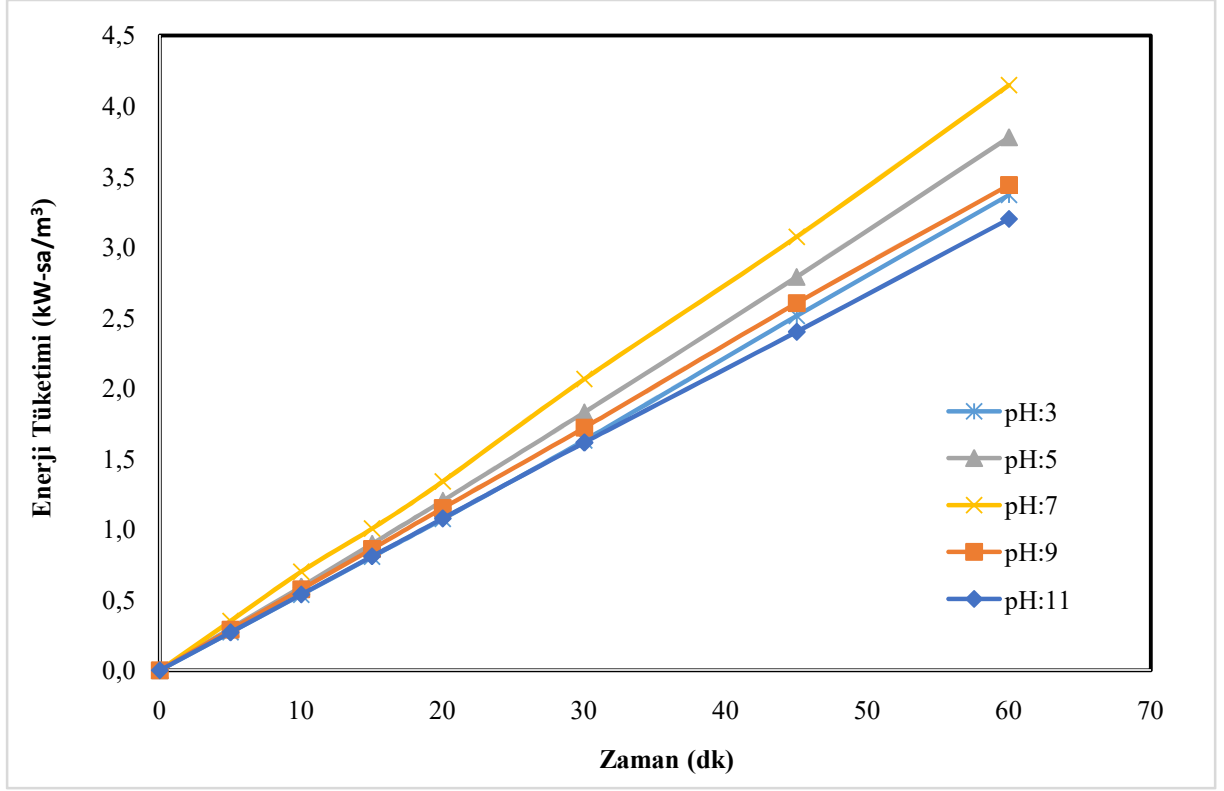


Şekil 4.23: Zaman içerisindeki enerji tüketim miktarını etkileyen sıcaklık grafiği

Grafikte gösterildiği gibi sıcaklık arttıkça tüketilen enerji miktarı azalmaktadır. Sıcaklık değerleri arttıkça reaksiyon hızı artar. Giderimin fazla olduğu sıcaklık değerinde tüketilen enerji miktarı daha azdır. Yapılan çalışmada da araştırıldığı üzere sıcaklık değeri 55°C olduğu zaman aralığında enerji tüketim miktarı 3040 kW-sa/m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. Atıksuyun sıcaklık değeri 40°C olduğu zaman diliminde tükettiği enerji miktarı 3310 kW-sa/m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. Atıksu sıcaklık değeri 25°C olarak incelendiği zamanda enerji tüketim miktarı 3740 kW-sa/m<sup>3</sup> olarak tespit edilmiştir. Atıksu sıcaklık değeri 10°C olarak değerlendirildiği zaman skalasında enerji tüketim miktarı 4150 kW-sa/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır.

#### 4.2.12 pH'in Enerji Tüketimine Etkisi

pH enerji tüketim miktarında etkili rol oynayan parametrelerden birisidir. Ortamın asidik, bazik veya nötr olması gibi durumlarda arıtım farklı şekilde sonuçlanır.



Şekil 4.24: Zaman içerisindeki enerji tüketim miktarını etkileyen pH grafiği

Grafikten de incelendiği üzere pH değeri nötr olduğunda enerji tüketiminin en fazla olduğu gözlemlenmiştir. Atıksudaki pH=11 değerinin belirli zaman aralıklarında tükettiği enerji miktarı  $3,20 \text{ kW-sa/m}^3$  olarak tespit edilmiştir. pH=9 değerinin istenilen zaman aralığındaki enerji tüketim miktarı  $3,44 \text{ kW-sa/m}^3$  olarak elde edilmiştir. Atıksu pH=7 değerinin incelendiği zaman diliminde tüketilen enerji miktarı  $4,15 \text{ kW-sa/m}^3$  olarak belirlenmiştir. Atıksuyun pH=5 değeri incelendiği zaman enerji tüketim miktarı  $3,78 \text{ kW-sa/m}^3$  olarak hesaplanmıştır. Atıksuyun pH=3 değeri araştırıldığında ise enerji tüketim miktarı  $3,37 \text{ kW-sa/m}^3$  olarak belirlenmiştir.

## 5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Tekstil endüstrisinde kirletilmiş sularda aşırı miktarda boyar madde mevcuttur. Bu tarz atıksular deşarj konusunda sorun yarattığı için atıksu mutlaka arıtılmalıdır. Tekstil endüstrisi kirletilmiş sularındaki boyar madde arıtımında elektrokimyasal süreçler daha çok tercih edilmektedir ve bu yönde çok fazla araştırmalar mevcuttur. Elektrokimyasal yöntemler içerisinde sık sık tercih edilen ve önemli süreçlerden birisidir. Elektrokimyasal süreçinde anot çözünmesi yaşanmadığı için atıksu arıtılırken çamur oluşumu gerçekleşmez. Yapılan çalışmalarda elektrokimyasal yöntem ile boyar maddenin renk giderim verimi ve enerji tüketimi üzerine etkisi incelenmiştir. Çalışmada iki farklı boyar madde kullanılmıştır. Çalışma sonucu olarak;

- Elektrokimyasal yöntem ile tekstil endüstrisi atıksuyundaki boyar madde gideriminde verimli olduğu gözlemlenmiştir.
- Akım yoğunluğu ne kadar fazla olursa renk giderim verimi o kadar fazla olur.
- Akım yoğunluğu fazla olduğu zaman tüketilen enerji miktarı artar.
- Destek elektrolit konsantrasyonu fazla olduğu zaman renk giderim verimi artar.
- Destek elektrolit konsantrasyonu fazla olduğunda enerji tüketim miktarı azalır.
- Destek elektrolit türünde en fazla renk giderimi KCl en az ise Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> gerçekleşmiştir.
- Destek elektrolit türünde tüketilen enerji en fazla Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>'te en az ise KCl de gerçekleşmiştir.
- Boyar madde konsantrasyonu en fazla olan 1000 mg/L'da renk giderimi daha fazla gerçekleşmiştir.
- Boyar madde konsantrasyonunda tüketilen enerji miktarı konsantrasyonu en az olan da en fazladır.
- Sıcaklık arttıkça renk giderimi artmaktadır.
- Sıcaklık arttıkça tüketilen enerji miktarı azalmaktadır.
- Bomaplex Blue boyar maddesi için pH 9 da en yüksek renk giderim verimi sağlanırken, Drimarine Orange boyar maddesi için pH 3 e gittikçe renk giderim verimi artmaktadır.
- pH değeri nötr olduğu zaman tüketilen enerji miktarı en fazladır.

## 6. KAYNAKLAR

- Açıkgöz, Ç., “Tekstil Atıksularından Farklı Özellikteki Boyar Maddelerin Membran Biyoreaktör (MBR) Sisteminde Arıtımı”, Yüksek Lisans Tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoteknoloji Anabilim Dalı (2019).
- Anonim (2004). Su Kirlenmesi Kontrolü Yönetmeliği. Resmi Gazete, Sayı: 25687, 31 Ocak.
- Birgül, A., “Tekstil Endüstrisi Atıksu Arıtımında İleri Oksidasyon Proseslerinin Kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, (2006).
- Chmielewski, A., et al. (1997). "Separation technologies for metals recovery from industrial wastes." *Hydrometallurgy* 45(3): 333-344.
- EPA, 1996. Manuel best management practices for pollution prevention in textile industry, US Environment Protection Agency, EPA-625/R-96/004, Washington
- Fil, B. A. Antep Fıstığı İşleme Atıksularının Elektrokimyasal Arıtım Yöntemiyle Arıtılması. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, 2014.
- Germirli, F., et al. (1990). "Tekstil Endüstrisinde Atıksu Özelliklerini Etkileyen Faktörler- Örnek Tesislerde Uygulama." *İTÜ* 2: 95-108.
- Göknil, H., et al. (1984). "Tekstil endüstrisi atıksularında kontrol ve kısıtlama esasları projesi." T.C. Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü, Aralık.
- Hem, J.D., 1985, Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water: U.S. Geological Survey Water- Supply Paper 2254, U.S. Geological Survey, Alexandria, VA 22304, USA, 263 p.
- Ihara, I., et al. (2004). "High gradient magnetic separation combined with electrocoagulation and electrochemical oxidation for the treatment of landfill leachate." *IEEE Transactions on applied superconductivity* 14(2): 1558-1560.
- İlhan, F., et al. (2007). "Elektrokimyasal arıtım ve uygulamaları: Katı atık sızıntı suyu çalışması." *AB Sürecinde Türkiye’de Katı Atık Yönetimi ve Çevre Sorunları Sempozyumu*: 1-9.



- Kereci, F. N. (2014). Tekstil Atıksularındaki Rengin Tekstil Atık Külü ile Giderimi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı. Kahramanmaraş, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi. Yüksek Lisans Tezi.
- Öztürk, A. (2019). Tekstil endüstrisi atıksularının sülfat radikali kullanımı ile arıtılması, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Sevimli M F (2000). Tekstil Endüstrisi atıksularından ozonlama ile renk giderimi ve ozonlamanın biyolojik arıtılabilirliğe etkisi. Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Sözen, S. (1991). "Tekstil Endüstrisinde Kirlenme Kontrolü." Su Kirlenmesi Kontrolü Dergisi1(3): 133-144.
- Vajnhandl, S. and A. M. Le Marechal (2005). "Ultrasound in textile dyeing and the decolouration/mineralization of textile dyes." Dyes and Pigments 65(2): 89-101.
- Vardar, B. (2006). Tekstil endüstrisi reaktif boya banyolarının elektrokimyasal yöntemler ile arıtımı, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Verma A K, Dash R R, Bhunia P (2012), A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters, Journal of Environmental Management 93; 154-168
- Tarakçıoğlu; I., 2000, Tekstil Terbiyesi ve Makinaları, E.Ü. Tekstil ve Konfeksiyon Araştırma-Uygulama Merkezi Yayını, Yayın No:5, İzmir
- Tünay, O., et al. (1996). "Color removal from textile wastewaters." Water Science and Technology 34(11): 9-16.

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Deniz TOSUN

Doğum tarihi ve yeri :16.06.1987 Ankara

e-posta : deniz@korucevre.com.tr

### Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Y. Lisans	Balıkesir Üniversitesi/Çevre Mühendisliği	2017-2022
Lisans	Atatürk Üniversitesi/Çevre Mühendisliği	2005-2011
Lise	Kanuni Lisesi	2001-2004